

CENTRO ESTUDIANTES DEL DOCTORADO EN QUIMICA

CHEMIA



BUENOS AIRES

JUNIO 1943

TOMO XIII N° 90-91

Disponibles en sus Envases Originales ACIDOS REACTIVOS PARA ANALISIS

DU PONT



Los famosos Acidos Reactivos para Análisis elaborados por Du Pont pueden ahora obtenerse en sus envases originales, tal como se importan de los Estados Unidos de Norteamérica.

La extraordinaria calidad de estos Acidos purísimos es una de las razones por que el profesional consciente los prefiere en todos los casos.

Importadores y Distribuidores exclusivos al por mayor



Una Organización Técnica al Servicio de la Industria Nacional

VENTAJAS DE LOS FRASCOS ORIGINALES DU PONT

- Construidos de vidrio neutro, eliminan toda posibilidad de alteración de su contenido.
- Su fondo antideslizante impide que resbalen sobre las mesas de cristal o de mármol.
- Cierre de material plástico con rosca. Seguros y herméticos.
- Discos de vidrio alojados entre el material plástico y la boca del frasco, evitan el contacto del ácido.
- Arandela de caucho que amortigua la presión del cierre.
- Tapas y etiquetas de diferentes colores para cada ácido. Evitan confusiones.
- Obtenibles en dos tamaños; en frascos pequeños y grandes.
- Garantía de "DUPERIAL".
- Pida Acidos Reactivos para Análisis Du Pont a su proveedor.

INDUSTRIAS QUIMICAS ARGENTINAS "DUPERIAL"

Edificio "Duperial" - Paseo Colón 285 - U. T. 34, Defensa 2191 - Buenos Aires

CENTRO ESTUDIANTES DEL DOCTORADO EN QUIMICA

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, FISICAS Y NATURALES

BUENOS AIRES

CHEMIA

TOMO XIII

•

BUENOS AIRES

1943

CENTRO ESTUDIANTES DEL DOCTORADO EN QUIMICA

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, FISICAS Y NATURALES

BUENOS AIRES

CHEMIA

TOMO XIII

•

BUENOS AIRES

1943

Dr. Reinaldo Vanose

— donación

C H E M I A

Revista del Centro Estudiantes del Doctorado en Química

Comisión de Redacción: J. I. FURTADO - R. L. HUSTE - H. DAMIANOVICH (h)

Administrador: LUIS PENNA

En este número :

V. DEULOFEU: *Vida y obra de Lavoisier.*

A. L. LAVOISIER y DE LAPLACE: *Memoria sobre el calor.*

P. S. DE LAPLACE y A. L. LAVOISIER: *Memoria conteniendo las experiencias hechas sobre el calor durante el invierno de 1783 a 1784*

Artificios útiles para el laboratorio.

Indice del Tomo XII

Centro Estudiantes del Doctorado en Química

COMISION DIRECTIVA

PERIODO 1943-1944

<i>Presidente</i>	FERNANDO A. ORTEGA
<i>Vicepresidente</i>	CARLOS ALBERTO BADO
<i>Secretario</i>	ARIEL H. GUERRERO
<i>Prosecretario</i>	MASUB ESPER
<i>Tesorero</i>	JUAN B. ETCHEGOIN
<i>Protesorero</i>	SRTA. IRIS FAVA

DELEGADOS

Por 5º año	OSCAR BOUSO
» 4º »	DOMINGO GONZÁLEZ
» 3er. »	DANIEL ZAPPI
» 2º »	HORACIO YOUNG
» 1er. »	JOSÉ A. GOGGI

SUB-COMISIONES

<i>Biblioteca</i>	ANDRÉS D. FORTUNATO
<i>Cultura</i>	ALBERTO LEIGUARDA
<i>Apuntes</i>	OSCAR BOUSO
<i>Fiestas</i>	DANIEL BASSI
<i>Deportes</i>	ALDO MITTA
<i>Rev. de canje</i>	JORGE FARIAS PIZZURNO
<i>Propaganda</i>	EMILIANO RUTH

DIRECTORES

<i>Del « Boletín »</i>	HÉRCULES N. V. BRERO
» « <i>Diario Mural</i> »	CARLOS ENRIORI
» « <i>Ateneo</i> »	ESTHER DEL POTRO

<i>Delegado estudiantil</i>	FRANCISCO GIMÉNEZ
» <i>a la F.U.B.A.</i>	ARIEL H. GUERRERO

Biblioteca, Venta de Publicaciones, Tesorería, Secretaría y demás actividades administrativas:

Todos los días de 9 a 12 y de 16 a 20 hs.

Sábados de 9 a 12.

HOMENAJE

A

ANTOINE LAURENT LAVOISIER

1743-1943



VIDA Y OBRA DE LAVOISIER

Con el renacer de la actividad intelectual en el siglo XV, Europa comienza a producir nuevamente figuras geniales en el terreno científico. Continúan apareciendo en el transcurso de los siglos siguientes, y aún en nuestros días, antes de la guerra que hoy la aplasta, algunos de los renovadores científicos de más influencia eran de origen europeo.

Una de estas figuras ha sido Antoine Laurent Lavoisier.

Lavoisier nació en París el 26 de agosto de 1743. Hijo de Juan Antonio, abogado, procurador en el Parlamento y de Emilia Punctis. Por línea paterna descendía de una humilde familia de Villers-Cotterets (Aisne) que había progresado con las generaciones. Su primer antecesor conocido parece haber sido postillón al servicio del Rey, pero su hijo, que ya sabía leer y escribir, fué un funcionario modesto del Estado. Su nieto, comerciante y su bisnieto el abuelo de Antoine Laurent Lavoisier ya había llegado a estudiar leyes y a ocupar una situación de relativa importancia en los negocios del Estado, dentro de la zona modesta de la población. Su madre era de una familia acomodada, de origen también humilde. Su abuelo materno, un abogado, era hombre influyente en el foro de París.

Antoine Laurent Lavoisier fué el primer hijo del matrimonio, dos años después nacía su hermana Emilia.

La madre murió pronto, y tanto Lavoisier como su hermana fueron devotamente cuidados por una tía materna, Constance Punctis.

Lavoisier fué enviado al Colegio Mazarino donde siguió el programa humanístico de la época, pero donde comenzó

a conocer la existencia de leyes científicas, frecuentando el observatorio anexo al Colegio. Hizo algunos ensayos literarios y terminada su instrucción inicial siguió los cursos de la Facultad de Derecho, llegando a recibirse de abogado.

Amante de las ciencias naturales, estudió simultáneamente matemáticas con el abate de la Caille, botánica con Bernardo de Jussieu, geología y mineralogía con Guettard, química con Rouelle. Guettard, amigo de la familia, posee tal vez el mérito de haber entusiasmado a Lavoisier a seguir esos estudios.

Comienza entonces, a los veinte años, a realizar observaciones meteorológicas en las que hace intervenir a sus familiares y que ha de continuar toda la vida.

Un año después, en 1765, envía a la Academia de Ciencias de París una memoria sobre el análisis de yeso, su primer trabajo, donde no relata ningún hecho que signifique un avance hacia lo desconocido, pero que se señala por la precisión de los métodos empleados y el rigorismo del razonamiento que han de ser características de sus trabajos futuros.

En 1766, la misma institución le confiere una medalla de oro por su trabajo presentado a un concurso sobre el mejor método para iluminar una gran ciudad durante la noche.

Su personalidad comenzaba a llamar la atención de sus colegas científicos de más edad y el 18 de mayo de 1768, es elegido miembro adjunto de la Academia de Ciencias, propuesto por el astrónomo Lalande quien señala que Lavoisier «es un hombre joven de excelente reputación, altas cualidades intelectuales y clara visión, cuya fortuna considerable le permite dedicarse completamente a la ciencia».

Lavoisier tendría todos los grados en la Academia de Ciencias, nombrado miembro asociado en 1772, pasa a ser pensionado en 1778, director en 1786 y tesorero de la misma en 1791.

En 1768, el mismo año de su entrada en la Academia, Lavoisier logra una situación económica importante al ser designado adjunto del *fermier general* Baudon, de quien adquiere un tercio de los intereses que tenía.

En 1771, adquiere la mitad de los mismos y en 1779 es *fermier general* por derecho propio. Cinco años más tarde

forma parte del Consejo Directivo de la importante institución.

Dedica a sus negocios la misma contracción, el método minucioso y la disciplina que emplea en sus experiencias.

Conoce en ese Comité a Jacques Paulze, padre de quien después ha de ser su esposa.

Encargado de controlar los derechos de entrada a París, propone para impedir el contrabando, la construcción de un muro que luego rodea a París hasta 1850 y lo transforma en hombre odiado, blanco de panfletistas y motivo de retruécanos populares. «Soy de opinión que el autor de este proyecto debe ser colgado», dice un mariscal de Francia. «Le murmurant Paris, rend Paris murmurant», comentan el pueblo y los salones.

Lavoisier era indudablemente dentro de la *ferme general* un administrador honesto, correcto y capaz. Las medidas que proponía eran impopulares, pero no ilegales. Su capacidad se confirma, cuando ya en pleno ambiente de revolución, la Asamblea Nacional decide crear la Tesorería de la Nación, que lo designa en su Directorio con otros cinco financistas.

Renunció un año después, en 1792, descreído y cansado de las tentativas de mejorar las finanzas de la nación.

Pudo haber sido Ministro de Contribuciones Públicas de Luis XVI, pero no acepta, manifestándole que prefiere servir a Francia desde cargos menores más de acuerdo con sus inclinaciones.

Por su capacidad técnica Lavoisier ocupó el cargo de comisario o superintendente general de pólvoras, para el cual lo designara Turgot en 1776 y que compartía con otros tres miembros. Lavoisier fué indiscutiblemente el nervio de la Comisión.

La pólvora era todavía una mezcla de azufre, carbón y nitrato, el llamado nitro. Esta substancia era escasa en Europa. Su mayor producción venía de los residuos animales y en Francia se la buscaba de casa en casa por inspectores oficiales.

Los nuevos comisarios modificaron este estado de cosas. Económicamente mejoraron los precios que se pagaban por el

nitro. Científicamente trataron de producirlo por otros métodos. Su producción aumentó y cubrió las necesidades.

Pero la aplicación del método científico a la producción de la pólvora misma mejoró también su eficiencia. La superioridad de la pólvora francesa de esa época es cosa reconocida y su influencia se dejó sentir en las luchas de la independencia de las colonias norteamericanas, cuyas tropas la utilizaron en buena escala. Hasta en las luchas entre Francia y Europa posteriores a la Revolución tuvieron influencia las mejoras introducidas por Lavoisier.

El Laboratorio del Arsenal, no sólo tuvo influencia en la mejora de las pólvoras. Fué allí donde Lavoisier empleando su peculio personal montó uno de los mejores laboratorios de la época y realizó las experiencias fundamentales que lo hicieron famoso y cimentaron las ciencias químicas.

Como técnico, Lavoisier fué posteriormente miembro de otras comisiones. Formó parte del Bureau de consultación des Arts et Metiers fundado en 1791 del cual fuera Presidente en 1793. También integró el Comité de pesas y medidas, cuya obra perdura hasta nuestros días.

Lavoisier muere en la guillotina el 8 de mayo (19 floreal) de 1794 por orden del tribunal revolucionario que dictó sentencia ese mismo día.

Era el fin de un largo proceso contra la *ferme generale*.

Casi ninguno de sus colegas científicos, miembros de la Convención y miembros del poderoso Comité de Salud Pública parecen haber realizado gestiones para evitar la sentencia que se aproximaba o el cumplimiento de ésta una vez dictada.

Los que así lo hicieron, sus amigos del Comité de Pesas y Medidas no sólo no tuvieron la suficiente influencia, sino que fueron separados de sus cargos. Tampoco tuvieron mejor éxito sus colegas del Bureau des Arts et Metiers o sus compañeros del viejo Comisariato de Pólvoras.

El 5 de mayo, Dupin, presentaba su requesitoria contra los *fermiers generaux* y pedía fueran llevados al Tribunal Revolucionario. Se los juzgó tres días después. Un día antes Lavoisier había recibido una palma de honor del Liceo de Artes y Oficios que había contribuido a fundar.

El ciudadano Hallé señaló el informe favorable a las actividades científicas de Lavoisier presentado por el Bureau des Arts et Metiers, pero no pudo salvarlo. La frase que se atribuye a Caffinhal, vice-presidente del Tribunal e indudablemente apócrifa «La República no precisa de sabios, es necesario que la justicia siga su curso», expresa sin embargo el verdadero estado de ánimo de esa corte.

Lavoisier había casado en 1771 con María Ana Paulze. Encontró en ella una compañera que se interesaba en sus trabajos y ayudaba con sus notas, traducciones y preparación de tablas y dibujos. Dirigió con satisfacción la casa de ambos, donde se reunían frecuentemente, en comidas, a la que asistían célebres hombres de ciencia franceses y extranjeros. Olvidadas rápidamente las acusaciones contra los recaudadores, Mme. Lavoisier, que no tuvo descendencia, continuó viviendo en París donde siguió trabajando en ordenar las memorias y anotaciones dejadas por Lavoisier, publicando en 1805 dos volúmenes con el título de «Memoires de chimie».

Debemos a Lavoisier una obra experimental, pero principalmente de interpretación de los fenómenos químicos que modificó las bases de esas ciencias e inició el fundamento moderno de las mismas.

Los antiguos aplicaban la química sin conocerla. Realizaban operaciones de esta clase como una necesidad de su tecnología.

Para llegar a la época de Lavoisier, esta ciencia había pasado por varios períodos definidos. En un comienzo, la alquimia pretendía lograr la transmutación de los metales en oro o prolongar indefinidamente la vida. Su influencia llega hasta el siglo XVI, y ensambla con la iatroquímica que le sigue. En este período se une íntimamente a la medicina.

Los iatroquímicos consideraban que las enfermedades provenían de la existencia en el organismo de procesos químicos anormales y sostenían que su tratamiento podía sólo hacerse mediante el empleo de materias químicas, las únicas capaces de contrarrestarlos.

Pero ya el siglo XVII comienza a ver el desarrollo de una química experimental, con vistas más amplias, pero menos espectaculares, que aportó muchas contribuciones al conocimiento de las transformaciones de la materia.

Estos aportes eran una multitud de experiencias aisladas, inconexas entre sí, sin una interpretación general, muchas veces diferente de un estudioso a otro, aún para un caso particular, pero la química dejó de ser una ciencia secreta, conocida sólo de unos pocos iniciados, para pasar a ser del dominio público y enseñarse en las Escuelas de Medicina como una necesidad de esa profesión.

La primera tentativa para reunir el mayor número de estos hechos bajo una misma teoría, fué realizada por Stahl (1660-1734). Médico y químico, como lo fueron muchos en aquella época, fué profesor en Halle y médico del rey de Prusia.

Stahl desarrolló una idea formulada por Becher e introdujo una nueva entidad en los fenómenos químicos: el flogisto.

El flogisto era la causa determinante de las combustiones y se eliminaba durante las mismas de las sustancias que lo contenían. Todas las sustancias capaces de quemar contenían flogisto. Si los metales, que cambiaban de estructura y aspecto al ser calentados al aire, lo que llamamos hoy calcinación, era porque abandonaban el flogisto que los formaba. El residuo se llamaba cal metálica, nombre entonces genérico, que hoy empleamos para una sola sustancia. Y si al calentar una de estas sales con carbón se obtenía nuevamente el metal, era porque el carbón, muy rico en flogisto, algunos lo consideraban flogisto puro, se lo cedía.

Conocían perfectamente los estudiosos de esa época, que las combustiones no podían mantenerse en un ambiente cerrado, pero nunca se lo atribuyeron a la necesidad del aire, sino a que el espacio saturado por el flogisto eliminado, no podía aceptar más e impedía que continuara el proceso.

Pero la doctrina abarcaba también la respiración de los seres vivos, que se explicaba en la misma forma, asimilándola a una combustión, y aunque se estaba en lo cierto en esta afir-

mación, resultaba equivocada la interpretación. Aún las fermentaciones cabían dentro de la teoría.

Equivocada o no, esta tuvo un mérito. Explicaba hechos hasta entonces considerados diferentes. No debe así sorprender que los químicos europeos la aceptaran y que entre sus adeptos figuraran los nombres más ilustres de la época: Bergmann y Scheele en Suecia, Rouelle, el maestro Lavoisier y Macquer el amigo y compañero de algunas experiencias en Francia, Cavendish y Priestley en Inglaterra. Mientras tanto, se acumulaban hechos nuevos, pues la química, continuaba progresando, cada vez en forma más acelerada. A veces se realizaban experiencias que la teoría no podía explicar, pero cada investigador la modificaba a su manera para no incurrir en contradicción. Que algunas sustancias al entrar en combustión o al ser calcinadas se transformaban en productos de peso superior al inicial a pesar de perder flogisto, hizo atribuir a este un peso negativo, aunque el carbón, el flogisto puro, tenía un peso positivo.

Estas contradicciones fueron aclaradas por la interpretación que diera Lavoisier de los fenómenos de combustión, cuando la información acumulada por una serie de experimentadores, reunida a la propia observación, permitió a su genio de síntesis formular una teoría que explicaba los hechos conocidos y permitió prever otros nuevos.

El 10 de noviembre de 1772, Lavoisier presentó a la secretaría de la Academia de Ciencias de París, una nota que fué recién hecha pública en Mayo de 1773. Conjuntamente con una pequeña comunicación del 20 de octubre de 1772, encontrada recién en 1931, puede considerarse como el punto de partida de sus investigaciones sobre la combustión y el germen de su teoría.

Ha observado, que al quemarse el fósforo, los productos de combustión pesan más que el fósforo primitivo; al azufre le ocurre lo mismo y atribuye ese aumento de peso a la fijación del aire durante la combustión.

Explica en la misma forma el aumento de peso que sufren los metales cuando se los somete a la calcinación, calentamiento en contacto con la atmósfera, que los transforma en las

llamadas cales metálicas; y si las cales volvían a dar el metal original al calentarlas con carbón, se debía a que este último eliminaba el aire fijado.

Esta nota incluye dos aspectos importantes que se han de repetir en las ulteriores investigaciones de Lavoisier. El empleo de la balanza, que le ha permitido confirmar aumentos de peso en las combustiones, y la idea que el aire interviene en las mismas y es responsable de esos aumentos.

Sin embargo, ninguna de ambas cosas, hecho o hipótesis, era nueva. El alemán Margraff (1709-1782) había ya encontrado que los productos de combustión del fósforo eran más pesados que la materia original y su propio compatriota Jean Rey, había sostenido en 1630 que el aire era responsable del aumento de peso que los metales sufrían por calentamiento.

Pero las afirmaciones de Rey, documentadas mediante el empleo de la balanza fueron olvidadas y los hallazgos de Margraff no tuvieron influencia. El desarrollo de la química no había aún llegado al estado necesario para que esos hechos determinaron cambios fundamentales en las interpretaciones.

Otra era la época en que Lavoisier inició sus trabajos, que desarrolló posteriormente y dió a conocer primero en un libro, los «Opúsculos Químicos y Físicos», luego en forma más detallada ante la Academia de Ciencias. Sus memorias son claras y sus términos precisos. Sus experiencias son esencialmente cuantitativas y emplea la balanza continuamente. Las hizo construir sin fijarse en gastos, que corrían por su cuenta personal, y poseía algunas de gran sensibilidad para la época. Una de ellas la más sensible era capaz de pesar hasta 10 kilogramos con una aproximación de 20 miligramos, es decir una parte en 500.000. Lo seguían otras que admitían menos peso total, pero de sensibilidad menor.

Lavoisier utilizó para sus experiencias en buena parte la balanza de mayor sensibilidad, que si bien lo obligaba a trabajar con masas grandes, le permitía una mayor exactitud. Trabajaba con el sistema de la doble pesada y tomaba el peso medio.

En 1776, demostró que el peso del aire que desaparece al transformarse un metal en cal, es aproximadamente igual al aumento del mismo que se produce en el metal calcinado.

Trabajó primero en un sistema completamente cerrado y encontró que su peso no variaba a pesar de producirse la calcinación. Sin embargo, el estaño que era el metal empleado, había aumentado de peso en forma indudable.

Pero lo había hecho a expensas del aire confinado en el interior del recipiente cerrado y por lo tanto el peso total del sistema no había variado.

Si, en cambio, terminada la experiencia, se deja entrar aire del exterior se observa un aumento de peso sensiblemente igual al ganado por el estaño solamente, de donde deducía la verdad de su afirmación primera, que el aire era fijado por el metal.

Lavoisier mencionaba entonces solamente al aire. No podía decir otra cosa porque su composición era desconocida. Pero un año después le era dado afirmar que el aire que se combina a los metales era solo una porción del aire atmosférico, la parte que califica como más pura, y que al ser eliminada de las sales metálicas por acción del carbón, aparece en otra forma, que se llama aire fijo y que hoy conocemos como anhídrido carbónico.

Es que durante ese año, ha tenido lugar un hallazgo importante para la química. Joseph Priestley ha descubierto el primero de agosto de 1774 al oxígeno, nombre que hoy damos a la fracción de aire puro de Lavoisier y al cual el mismo bautizara con ese nombre.

De familia humilde, ministro no conformista, amante de la ciencia, Priestley era sobre todo un magnífico experimentador, especialmente con los gases, de los cuales descubrió casi una decena. El más importante de todos fué el oxígeno, en el cual «una vela ardía con llama vigorosa», gas que simultáneamente con Priestley encontrara el famoso sueco Scheele.

Fué Priestley quien puso a Lavoisier en contacto con el oxígeno. Hizo en esa época un viaje a Francia y fué recibido por sus colegas con todos los honores, pues era ya ilustre. Conoció a Lavoisier, concurrió a su casa y a su laboratorio y comentó las propiedades comburentes del nuevo gas, que obtenía por simple calentamiento de la cal roja de mercurio.

Posteriormente a este viaje, en marzo de 1775, Priestley anunciaba en la Royal Society su descubrimiento. Es duran-

te ese tiempo que Lavoisier vincula el hallazgo de Priestley a su teoría, y a sus comprobaciones experimentales que el aire entra en las combustiones y concreta sus resultados en la afirmación citada que solo el aire puro, el gas de Priestley participa de las mismas.

En adelante los fenómenos de ese tipo se aclaran con rapidez. Demuestra que al arder el fósforo se consume oxígeno, que lo mismo ocurre cuando se queman bujías o carbón, produciéndose en ese caso anhídrido carbónico. Realiza el análisis del aire, demostrando que está formado por dos gases, uno respirable y otro no respirable, que ahora llamamos oxígeno y nitrógeno. Señala que el hidrógeno se une al oxígeno al quemarse y produce agua. El flogisto ha desaparecido.

Las operaciones cuantitativas realizadas para demostrar estas afirmaciones resultaron tan claras que pudo llegar a formular lo que hoy conocemos con el nombre de ley de conservación de la materia o de Lavoisier, al afirmar en su « Tratado Elemental de Química »: « Nada se crea, ni en las operaciones del arte, ni en las de la naturaleza, y puede establecerse el principio, que en toda operación hay una cantidad igual de materia antes o después de la operación, que la calidad y cantidad de los principios es la misma y que no hay cambios ni modificaciones ». « Es sobre estos principios que se funda todo el arte de hacer experiencias en química ».

La teoría de las costumbres de Lavoisier se extendió por Europa con suerte variada. En Francia fué aceptada por muchos químicos y sin excepción por todos los de la nueva generación. En Inglaterra tuvo ardientes partidarios, pero dos hombres de ciencia que con sus trabajos habían contribuido a fundarla, no pudieron ser convencidos, y hasta su muerte creyeron en la existencia del flogisto, uno era Priestley, que había descubierto el oxígeno, el otro era Cavendish que había encontrado la composición del agua. En Alemania, la patria del flogisto, la introducción fué también lenta, pero a comienzos del siglo dominaba en toda Europa y era enseñada públicamente.

Lavoisier posteriormente estudió la combustión de sustancias más complejas de origen orgánico y dió las bases del lla-

mado análisis elemental. Estudió los productos que producían al quemarse, el alcohol y los aceites llegando a resultados que difieren poco de nuestros datos actuales. Demostró que las sustancias que se extraían de los organismos, contenían principalmente carbono, hidrógeno y oxígeno, además nitrógeno y fósforo.

La nueva interpretación, al aclarar muchos fenómenos, permitía prever hechos nuevos y los conocimientos químicos progresaron rápidamente. Se hizo necesario una nueva manera de clasificarlos, que al mismo tiempo incorporara el adelanto logrado.

Surgió así una nomenclatura química cuyos fundamentos han llegado hasta nuestra época. Guyton de Morveau fué quien inició el estudio del problema. Luego con Berthollet, Fourcroy y Lavoisier se reunieron para establecer las bases de la misma, que presentaron a la Academia en varias memorias durante el año 1787.

Se debe también a los trabajos de Lavoisier la formulación precisa de la noción de elemento químico que hoy definimos como sustancias que no se pueden descomponer en otras más simples y cuyas combinaciones forman todas las demás.

Entre los antiguos, Thales de Mileto había expresado la creencia que el agua y los productos de su transformación eran la base de todas las cosas. Empédocles creyó que existían cuatro elementos últimos, que Diógenes llamó agua, fuego, aire y tierra, que pasaron a Aristóteles y subsistieron durante muchos siglos, hasta que las influencias árabes y la acción de Paracelso les añadió la sal, el mercurio y el azufre.

Parece haber sido el inglés Boyle (1627-1691) quien primero ha sospechado la existencia de elementos en el sentido actual. Miembro del Colegio Invisible, del cual surgiera luego la Royal Society, era un experimentador de primera clase y un filósofo natural completo. Contribuyó al movimiento renovador que estableció a la química como una ciencia independiente y no como auxiliar de la medicina. En su libro «*The Sceptical Chemist*» publicado en Oxford en 1661, decía Boyle: Entiendo por elemento ciertos cuerpos primitivos y simples o totalmente separados, que no pueden producirse

unos de otros; de los cuales se han formado todos los cuerpos compuestos y en los cuales pueden últimamente descomponerse ».

En Boyle estas afirmaciones eran pura intuición. Les faltaba base experimental y no podía lograrla en esa época. La prueba se produjo con los trabajos de sus sucesores, con el hallazgo de sustancias que no se podían descomponer en otras más simples y en la demostración de Lavoisier que las grandes transformaciones que se producen durante la combustión no eran sino el resultado de la combinación de cuerpos simples que podían volver a separarse de los productos obtenidos.

Lavoisier podía así decir en la introducción de su « Tratado Elemental de Química »: « Debe señalar que la tendencia que tenemos a creer que todos los cuerpos de la naturaleza están formados por tres o cuatro elementos, procede de un juicio que nos llega originariamente de los filósofos griegos.

La admisión de cuatro elementos que por la variedad de sus proporciones forman todos los cuerpos que conocemos, es una pura hipótesis imaginada mucho antes que existieran las primeras nociones de la física experimental y de la química ».

Presenta en su tratado un cuadro donde ya existen 26 elementos que hallazgos posteriores han ampliado a los 89 conocidos actualmente. Los divide en metálicos y no metálicos, estos últimos posteriormente llamados por Berzelius metaloides.

No puede desligarse totalmente de la influencia de los antiguos e incluye entre los elementos a formas de energía como la luz y el calor. Añade también sustancias que no lo son como las tierras calcáreas, la magnesia y las arcillas, pero tiene conciencia de la limitación que la época le impone pues dice « Las tierras según mi opinión, serían sustancias compuestas » y añade « No he incluido en esta tabla los álcalis fijos, como la potasa y la soda porque estas sustancias son evidentemente compuestas, aunque se ignore la naturaleza de los principios que entran en su combinación » y prevee así el

hallazgo de Davy, muchos años después, en 1807, quién logra aislar de ellas los elementos simples potasio y sodio.

Lavoisier extendió a los animales sus experiencias sobre combustión tratando de demostrar que los fenómenos de respiración estaban comprendidos en el mismo cuadro. En 1777 presenta experiencias a la Academia de Ciencias donde informa que al respirar, modifican la naturaleza del aire, produciendo lo que hoy llamamos ácido carbónico y haciendo que se vuelva irrespirable para otros seres. Pero si a este aire viciado incapaz de mantener una combustión se le añade oxígeno, vuelve a ser respirable.

Tres años después, con Laplace, demuestra que el calor que produce el organismo animal es el resultado de combustiones que se realizan en su interior.

Estas experiencias, rigurosamente cuantitativas, son históricamente consideradas, uno de los puntos de origen de la química biológica, ciencia que estudia las transformaciones materiales y energéticas de las sustancias en los organismos.

Estos trabajos son continuados. Sus cuidadosas medidas, la aplicación constante de los métodos cuantitativos, le permiten afirmar que no todo el oxígeno consumido en la respiración aparece en forma de gas fijo o anhídrido carbónico, y piensa que la hipótesis más plausible es que una porción del mismo forma agua en el organismo, cosa que se confirmó mucho tiempo después.

Con Seguin, demuestra que el consumo de oxígeno y por lo tanto las combustiones, aumentan con el movimiento, el ejercicio o la digestión, todos hechos confirmados y lugares comunes en la enseñanza de la química biológica de nuestros días.

Cuando debió terminar sus trabajos, los que más le atraían eran los acabados de mencionar.

Lavoisier es uno de los grandes genios científicos que ha producido el mundo. Es sobre todo un genio de síntesis. Su nombre queda vinculado a pocos hallazgos concretos, pero su

capacidad de generalización le permitió ver los puntos básicos en las experiencias más diversas que otros realizaban, compendiarlas y reunir las en una sola interpretación.

No fué sin embargo un simple teorizador. Repitió con un material y una precisión entonces no alcanzada las experiencias ajenas que servían de base a sus teorías demostrando gran capacidad de organización, una condición que Ostwald ha considerado innata en todo hombre de ciencia que se ha revelado genial. Y el genio es siempre excepcional. Por eso la frase de Lagrange con motivo de su muerte: «Se ha necesitado sólo un momento para hacer caer esa cabeza, no bastarán tal vez cien años para producir otra igual», definía con certeza la capacidad intelectual de Lavoisier.

MEMORIA SOBRE EL CALOR

Esta memoria es el resultado de las experiencias sobre el calor que hemos hecho en común L. de Laplace y yo durante el invierno último; el frío poco considerable de esta estación no nos ha permitido la realización de un mayor número. Nos habíamos propuesto, ante todo, esperar, antes de publicar nada sobre este respecto, que un invierno más frío nos hubiera permitido repetirlas con todo el cuidado posible, y aún multiplicarlas; pero hemos resuelto hacer público este trabajo, aunque muy imperfecto, por la siguiente consideración: que el método que hemos utilizado puede ser de utilidad en la teoría del calor, y que su precisión y su carácter general pudieran hacerlo adoptar por otros físicos, que, situados al norte de Europa, cuentan con inviernos muy favorables para este género de experiencias.

Dividiremos esta memoria en cuatro artículos: en el primero expondremos un nuevo medio para medir el calor; presentaremos en el segundo, el resultado de las principales experiencias que hemos realizado mediante dicho método; en el tercero, examinaremos las consecuencias que se deducen de estos experimentos; finalmente, en el cuarto artículo, trataremos de la combustión y de la respiración.

ARTICULO I

EXPOSICION DE UN NUEVO MEDIO PARA MEDIR EL CALOR

Cualquiera que sea la causa que produce la sensación del calor, ella es susceptible de acrecentamiento y de disminución, y, desde este punto de vista, puede ser sometida al

(1) Traducida de las « Oeuvres de Lavoisier », Tomo II (París) 1864, por Roberto L. Huste y revisado por el Dr. H. Damianovich.

cálculo. No parece que los antiguos tuvieran la idea de medir sus relaciones, y no es sino en el último siglo que se han imaginado medios para tal fin. Partiendo de esta observación general: que un calor más o menos grande hace variar sensiblemente el volumen de los cuerpos, y principalmente el de los flúidos, se han construído instrumentos aptos para determinar estos cambios de volumen; algunos físicos de este siglo han perfeccionado estos instrumentos, sea determinando con precisión los puntos fijos en el calor, tales como el grado del hielo y el del agua hirviente a una presión dada de la atmósfera, sea buscando el flúido cuyas variaciones de volumen se aproximan más a ser proporcionales a las variaciones del calor; de manera que no queda por desear más, relativo a su medida, que un medio seguro de apreciar los grados extremos.

Pero el conocimiento de las leyes que sigue el calor cuando se transmite en los cuerpos, está lejos de ese estado de perfección necesario para someter al análisis los problemas relativos a la comunicación y a los efectos del calor en un sistema de cuerpos desigualmente calentados, especialmente cuando su mezcla los descompone y forma nuevas combinaciones. Se ha hecho ya un gran número de experiencias interesantes de las cuales resulta que, en el pasaje del estado sólido al estado flúido, y de este último al estado de vapores, una gran cantidad de calor es absorbida, sea que se combina en este pasaje, sea que la capacidad de la materia para contenerlo aumente; se ha observado además que, a igual temperatura, los diferentes cuerpos no encierran bajo un mismo volumen una igual cantidad de calor, y que hay entre ellos, a este respecto, diferencias independientes de sus densidades respectivas; asimismo se han determinado las relaciones de las capacidades de varias substancias para contener el calor, y como, en la superficie de la tierra, aun los cuerpos más fríos no están completamente privados de él, se ha buscado de establecer las relaciones entre el calor absoluto y sus variaciones, indicadas por los grados del termómetro; pero todas estas determinaciones, aunque muy ingeniosas, están fundadas en hipótesis que requieren todavía ser verificadas por un gran número de experiencias.

Antes de ir más lejos, importa fijar de una manera precisa qué entendemos por estas palabras: « calor libre, capacidad de calor o calor específico de los cuerpos ».

Los físicos están divididos en lo que se refiere a la naturaleza del calor. Varios de ellos lo consideran como un flúido distribuído en toda la naturaleza, flúido del cual los cuerpos están más o menos penetrados, en razón de su temperatura y de su disposición particular para retenerlo; puede combinarse con ellos, y, en este caso, cesa de actuar sobre el termómetro y de comunicarse de un cuerpo a otro, cosa que no sucede más que en ese estado de libertad, que le permite equilibrarse en los cuerpos, formando lo que denominamos « calor libre ».

Otros físicos piensan que el calor no es sino el resultado de los movimientos insensibles de las moléculas de la materia. Se sabe que los cuerpos, aun los más densos, están llenos de un gran número de poros o de pequeños vacíos, cuyo volumen puede sobrepasar considerablemente al de la materia que ellos encierran; esos espacios vacíos dejan a sus partes insensibles la libertad de oscilar en todos los sentidos, y es natural pensar que estas partes están en una continua agitación, que, si aumenta hasta un cierto punto, puede desunirlas y descomponer los cuerpos; es este movimiento interno que, según los físicos de los cuales hablamos, constituye el calor.

Para desarrollar esta hipótesis, haremos observar que, en todos los movimientos en los cuales no hay punto de cambio brusco, existe una ley general que los geómetras han designado con el nombre de « principio de la conservación de las fuerzas vivas »; esta ley consiste en que, en un sistema de cuerpos que actúan unos sobre otros de una manera cualquiera, la fuerza viva, es decir la suma de los productos de cada masa por el cuadrado de su velocidad, es constante. Si los cuerpos están animados por fuerzas aceleratrices, la fuerza viva es igual a la que tenían en el origen del movimiento más la suma de las masas multiplicadas por los cuadrados de las velocidades debidas a la acción de las fuerzas aceleratrices. En la hipótesis que examinamos, el calor es la fuerza viva que resulta de los movimientos insensibles de las molé-

culas de un cuerpo; es la suma de los productos de la masa de cada molécula por el cuadrado de su velocidad.

Si se ponen en contacto dos cuerpos cuya temperatura sea diferente, las cantidades de movimientos que se comunicarán recíprocamente serán, al principio, desiguales; la fuerza viva del más frío aumentará en la misma cantidad en que disminuirá la fuerza viva del otro, y este aumento tendrá lugar hasta que las cantidades de movimiento comunicadas por una y otra parte sean iguales; en este estado la temperatura de los cuerpos habrá llegado a la uniformidad.

Esta manera de considerar el calor explica fácilmente por qué la impulsión directa de los rayos solares es inapreciable, mientras que éstos poseen un gran calor. Su impulsión es el producto de su masa por su simple velocidad; aun cuando esta velocidad sea excesiva, su masa es tan pequeña, que este producto es casi nulo, en vez que su fuerza viva siendo el producto de su masa por el cuadrado de su velocidad, el calor que ella representa es de un orden muy superior al de su impulsión directa. Esta impulsión sobre un cuerpo blanco, que refleja abundantemente la luz, es más grande que sobre un cuerpo negro, y sin embargo los rayos solares comunican al primero un calor menor, puesto que estos rayos, reflejándose, llevan su fuerza viva, que comunican al cuerpo negro que los absorbe.

Nosotros nos decidiremos entre las dos hipótesis precedentes; varios fenómenos parecen favorables a la última; tal es, por ejemplo, el del calor que produce el frotamiento de dos cuerpos sólidos; pero hay otros que se explican más simplemente mediante la primera; quizás las dos se cumplan al mismo tiempo. Como quiera que sea, no pudiéndose concebir más que estas dos hipótesis sobre la naturaleza del calor, se deben admitir los principios que les son comunes; según la una o la otra, « la cantidad de calor queda siempre igual en la mezcla simple de los cuerpos ». Esto es evidente, si el calor es un fluido que tiende a ponerse en equilibrio, y si no es otra cosa que la fuerza viva que resulta del movimiento interno de la materia, el principio enunciado es una consecuencia del de la conservación de las fuerzas vivas. La conservación del calor libre, en la mezcla simple de los cuerpos, es indepen-

diente, por lo tanto, de toda hipótesis sobre la naturaleza del calor; ha sido admitida por los físicos, y nosotros la adoptaremos en las investigaciones siguientes.

Si el calor es un fluido, es posible que, en la combinación de varias sustancias, se combine con ellas o que se desprenda; así nada indica a priori que el calor libre es el mismo antes y después de la combinación, nada lo indica todavía en la hipótesis que considera el calor como la fuerza viva de las moléculas de los cuerpos; puesto que las moléculas de las sustancias que se combinan, actuando unas sobre otras en virtud de sus afinidades recíprocas, están sometidas a la acción de fuerzas atractivas que pueden cambiar la cantidad de su fuerza viva, y, por consiguiente, la del calor; pero se debe admitir el principio siguiente, como principio común a las dos hipótesis.

« Si en una combinación o en un cambio de estado cualquiera, hay una disminución de calor libre, este calor reaparecerá completamente cuando las sustancias retornen a su estado primitivo, y, recíprocamente, si, en la combinación o en el cambio de estado, hay un aumento de calor libre, este nuevo calor desaparecerá en el retorno de las sustancias a su estado primitivo ».

Este principio está confirmado por la experiencia, y la detonación del nitro nos proporcionará seguidamente una prueba sensible de su exactitud. Se lo puede generalizar todavía, y extenderlo a todos los fenómenos del calor, de la manera siguiente: « Todas las variaciones de calor, sean reales o aparentes, que sufre un sistema de cuerpos, cambiando de estado, se reproducen en un orden inverso, cuando el sistema retorna a su primer estado ». Así, los cambios del hielo en agua y del agua en vapor hacen desaparecer, según lo indica el termómetro, una cantidad muy considerable de calor, que reaparece en el cambio del agua en hielo y en la condensación de los vapores. En general, se hará entrar la primera hipótesis en la segunda cambiando las palabras « calor libre », « calor combinado » y « calor desprendido » por las de « fuerza viva », « pérdida de fuerza viva » y « aumento de fuerza viva ».

En la ignorancia en que nos encontramos sobre la naturaleza del calor, no nos queda sino observar detenidamente

sus efectos, de los cuales los más importantes consisten en dilatar los cuerpos, hacerlos flúidos y convertirlos en vapores. Entre sus efectos, es necesario elegir uno, fácil de medir y que sea proporcional a su causa; este efecto representará al calor, de la misma manera que en dinámica representamos la fuerza por el producto de su masa y de su velocidad, aunque nosotros ignoremos la naturaleza de esta modificación singular en virtud de la cual un cuerpo responde sucesivamente a diferentes puntos del espacio. El efecto por el cual se mide ordinariamente el calor es la dilatación de los flúidos, y principalmente la del mercurio; la dilatación de este último flúido es según las interesantes experiencias de M. de Luc, muy aproximadamente proporcional al calor, en todo el intervalo comprendido entre el grado del hielo y el del agua hirviendo; dicha dilatación puede seguir una ley diferente en grados muy alejados; indicaremos seguidamente otro efecto del calor, que le es constantemente proporcional, cualquiera sea su intensidad.

Haremos uso del termómetro de mercurio, dividido en ochenta partes iguales, desde la temperatura del hielo fundente a la del agua hirviendo a la presión de una columna de 28 pulgadas de mercurio; cada parte forma un grado, y el origen de los grados, o cero del termómetro, es el término del hielo fundente, de tal manera que los grados inferiores deben ser considerados como negativos; supondremos además la escala en este termómetro prolongada indefinidamente debajo del cero y por sobre el grado del agua hirviendo, y dividida proporcionalmente al calor. Estas divisiones, que son casi iguales desde el cero hasta los ochenta grados, pueden ser muy desiguales en las partes alejadas de la escala, mas como quiera que sean, cada grado medirá siempre una cantidad constante de calor.

Si se suponen dos cuerpos iguales en masa, y reducidos a la misma temperatura, la cantidad de calor necesaria para elevar en un grado su temperatura puede no ser la misma para estos dos cuerpos, y, si se toma como unidad la que puede elevar en un grado la temperatura de una libra de agua común, se concibe fácilmente que todas las otras cantidades de calor, relativas a los diferentes cuerpos, pueden

ser expresadas en partes de dicha unidad. En adelante, entenderemos por « capacidades de calor » o « calores específicos » esas relaciones de las cantidades de calor necesarias para elevar en un mismo número de grados su temperatura, a igualdad de masa. Estas relaciones pueden variar según los diferentes grados de temperatura; si, por ejemplo, las cantidades de calor necesarias para elevar una libra de hierro y una libra de mercurio de cero a un grado están en la relación de 3 a 1, aquellas que será necesario utilizar para elevar estas mismas sustancias de 200 a 201 grados pueden estar en una relación mayor o menor, pero se pueden suponer esas relaciones aproximadamente constantes desde cero a ochenta grados; a lo menos la experiencia no nos ha hecho percibir diferencias sensibles; es para este intervalo que nosotros determinaremos los calores específicos de las diversas sustancias.

Se ha hecho uso del método siguiente para obtener esas cantidades. Consideremos una libra de mercurio a cero, y una libra de agua a 34 grados; mezclándolas, el calor del agua se comunicará al mercurio y, después de algunos instantes, la mezcla tomará una temperatura uniforme. Supongamos que sea de 33 grados, y que, en general, en la mezcla de varias sustancias que no tienen acción química unas sobre otras la cantidad de calor permanece igual; en estas suposiciones, el grado de calor perdido por el agua habrá elevado la temperatura del mercurio en 33 grados, de lo cual se deduce que, para elevar el mercurio a una temperatura dada, no se necesita más que la treinta y tres avas parte del calor necesario para elevar el agua a la misma temperatura, es decir que el calor específico del mercurio es treinta veces menor que el del agua.

Se puede deducir de esto una regla general y muy simple, para determinar, por medio de las mezclas, el calor específico de los cuerpos; puesto que, si se llama m la masa del cuerpo más caldeado, expresada en partes de la libra tomada como unidad; a el grado del termómetro que indica su temperatura; q el calor necesario para elevar en un grado la temperatura de una libra de esta sustancia; si se designa por m' , a' , q' , las mismas cantidades correspondientes al cuerpo

menos caliente, y si, finalmente, se denomina b el grado del termómetro que indica la temperatura de la mezcla, cuando ha llegado a la uniformidad; es visible que el calor perdido por el cuerpo m está en razón de su masa m , y del número de grados $a - b$ en que su temperatura ha disminuído, multiplicado por la cantidad q de calor que puede elevar en un grado la temperatura de una libra de esta substancia; se tendrá, pues, $m \cdot q \cdot (a - b)$ como expresión de esta cantidad de calor perdida.

Por la misma razón, la cantidad de calor adquirida por el cuerpo m' está en razón de su masa m' y del número de grados $b - a'$ en que ha aumentado su temperatura, multiplicado por la cantidad q' , lo que nos da $m' q'$, $(b - a')$ como expresión de esta cantidad de calor. Pero, puesto que se supone que después de la mezcla la cantidad de calor es la misma que al principio, es necesario igualar el calor perdido por el cuerpo m al calor adquirido por el cuerpo m' ; de donde resulta:

$$mq \cdot (a - b) = m' q' \cdot (b - a') ;$$

esta ecuación no hace conocer ni q ni q' , pero nos da su relación,

$$\frac{q}{q'} = \frac{m' \cdot (b - a')}{m \cdot (a - b)} .$$

Se tendrá, pues, así la relación de los calores específicos de los dos cuerpos m y m' , de manera que, si se comparan las diversas substancias de la naturaleza con una misma substancia, por ejemplo, con el agua común, se podrá determinar por este medio los calores específicos de esas substancias en partes del calor específico de aquélla con la que se las compara.

Este método, en la práctica, está sujeto a un gran número de inconvenientes que pueden ocasionar errores sensibles en los resultados; la mezcla de substancias cuyo peso específico es muy diferente, tales como el agua y el mercurio, es difícil de efectuar de una manera tal que permita estar seguro de que todas sus partes tienen la misma temperatura; es necesario después tomar en consideración el calor absorbido por los vasos y por la atmósfera en el período en que la tempe-

ratura de la mezcla llega a la uniformidad, lo que exige un cálculo delicado y sujeto a error. No se puede, además, comparar directamente por este método las sustancias que tienen acción química unas sobre otras; es necesario entonces compararlas con una tercera sustancia sobre la cual no tengan ninguna acción, y si no existe una sustancia tal, habrá que compararlas con dos cuerpos, y aún con un número mayor, con lo cual, al aumentar la cantidad de relaciones a establecer, multiplica los errores de los resultados. Este método sería entonces imposible de utilizar para la medición del calor o el frío producido por las combinaciones y absolutamente insuficiente para determinar el calor que producen la combustión y la respiración. Siendo la observación de estos fenómenos la más interesante de la teoría del calor, hemos pensado que un método apto para determinarlos con precisión sería de una gran utilidad en dicha teoría, puesto que, sin su ayuda, se concebirían hipótesis sobre su causa que serían imposibles de hacer valer mediante su concordancia con la experiencia. Esta consideración nos ha determinado a ocuparnos de esto ante todo, y vamos a exponer aquí los resultados a que hemos llegado y las reflexiones a que ellos nos han conducido.

Si se transporta una masa de hielo, enfriada a un grado cualquiera, a una atmósfera cuya temperatura esté por debajo de cero del termómetro, todas sus partes sufrirán la acción del calor de la atmósfera, hasta que su temperatura haya llegado a cero. En este último estado, el calor de la atmósfera, se detendrá en la superficie del hielo, sin poder penetrar en el interior; será empleada únicamente en fundir una primera capa de hielo que la absorberá, resolviéndose en agua; un termómetro colocado en esta capa se mantendrá en el mismo grado, y el único efecto sensible del calor será el cambio del hielo en líquido. En seguida el hielo recibirá un nuevo grado de calor, una nueva capa se fundirá y absorberá así todo el calor que le será suministrado; en virtud de esta fusión continua del hielo, todos los puntos interiores de su masa se presentarán sucesivamente en la superficie, y no es sino en esta posición que comenzarán a sufrir nuevamente la acción del calor de los cuerpos adyacentes.

Imagínese en una atmósfera cuya temperatura esté por de-

bajo de cero, una esfera, hueca, de hielo a la temperatura de cero grado, en cuyo interior se coloca un cuerpo calentado a un grado cualquiera; de lo que hemos dicho anteriormente se deduce que el calor exterior no penetrará en la cavidad de la esfera, y que el calor del cuerpo no pasará al exterior, y se detendrá en la superficie interior de la cavidad, la cual fundirá continuamente por capas sucesivas, hasta que la temperatura del cuerpo haya llegado a cero; no hay por qué alegar que la fusión del hielo interior se deba a otras causas que al calor perdido por el cuerpo, puesto que este hielo es una garantía contra la acción de todo calor exterior dado el espesor que lo separa de la atmósfera, y, por la misma razón, se debe tener por seguro que todo el calor del cuerpo es detenido, al disiparse, por el hielo interior, y empleado únicamente en fundirlo. De ahí resulta que, si se recoge con cuidado el agua encerrada en la cavidad de la esfera, cuando la temperatura del cuerpo haya llegado a cero, su peso será exactamente proporcional al calor perdido por el cuerpo al pasar de su temperatura primitiva a la del hielo fundente; puesto que está claro que una doble cantidad de calor debe fundir dos veces más hielo, de manera que la cantidad de hielo fundido es una medida muy exacta del calor empleado en producir tal efecto.

Ahora nada más sencillo que la determinación de los fenómenos del calor. ¿Se quiere, por ejemplo, conocer el calor específico de un cuerpo sólido? Se elevará su temperatura en un número cualquiera de grados, colocándolo en seguida en el interior de la esfera que acabamos de mencionar; se le dejará allí hasta que su temperatura se haya reducido a cero, y se recogerá el agua que su enfriamiento haya producido; esta cantidad de agua, dividida por el producto de la masa del cuerpo y del número de grados en que su temperatura era superior a cero, será proporcional a su calor específico.

En cuanto a los líquidos, se los colocará en vasos cuyas capacidades de calor se habrá cuidado de determinar, y la operación será la misma que para los sólidos, con la diferencia de que, para tener las cantidades de agua debidas al enfriamiento de los líquidos, será necesario substraer, de las cantidades de agua recogidas, aquellas que los vasos han debido producir.

¿Quiere conocerse el calor que se desprende en la combinación de varias sustancias? Se las reducirá a todas, así como a los vasos que las contienen, a la temperatura de cero; en seguida se colocará su mezcla en el interior de la esfera de hielo, teniendo cuidado de conservarla allí hasta que su temperatura sea nula; la cantidad de agua recogida en esta experiencia será la medida del calor desprendido.

Para medir el grado de frío producido en ciertas combinaciones, tales como las disoluciones de las sales, se elevará cada una de las sustancias a una misma temperatura, que designaremos por m , grados del termómetro; en seguida se las mezclará en el interior de la esfera, y se observará la cantidad de hielo fundida por el enfriamiento de la mezcla hasta cero; sea a esta cantidad. Para conocer el número de grados en que la temperatura de las sustancias ha disminuído, por efecto de su mezcla, por debajo de su temperatura primitiva m , se elevará la temperatura de esta mezcla a un número cualquiera m' de grados, y se observará la cantidad de hielo fundido por su enfriamiento hasta cero; sea a' esta cantidad. Esto hecho, puesto que a una cantidad a' de hielo fundido corresponde una temperatura m' de la mezcla, resulta evidente que la cantidad a de hielo fundido debe corresponder una temperatura igual a $\frac{a}{a'} m'$; esta temperatura es, luego, la que resulta de la mezcla de las sustancias elevadas a la temperatura m' ; restándola de m , se tendrá $\frac{a' m - am'}{a'}$ como expresión del número de grados de frío producidos por la mezcla.

Se sabe que los cuerpos, pasando del estado sólido al estado líquido, absorben calor, y que, retornando del estado líquido al sólido, lo restituyen a la atmósfera y a los cuerpos adyacentes; para determinarlo, representemos por m el grado del termómetro al cual el cuerpo comienza a fundirse; calentándolo hasta el grado $m - n$, y colocándolo en seguida en el interior de la esfera, provocará la fusión, enfriándose hasta cero, de una cantidad de hielo que designaremos por a ; calentándolo hasta el grado $m + n'$, fundirá, enfriándose, una cantidad de hielo que llamaremos a' ; finalmente, calentán-

dolo hasta el grado $m + n''$, fundirá por su enfriamiento una cantidad de hielo que denominaremos a'' . Hecho esto, se tendrá $a'' - a'$ como expresión de la cantidad de hielo que puede fundir el cuerpo al estado flúido, enfriándose $n'' - n'$ grados; de donde se deduce que, enfriándose n' grados, hará fundir una cantidad de hielo $\frac{ma}{m - n}$; denominando x la cantidad de hielo que puede fundir el calor desprendido por el cuerpo en su pasaje del estado flúido al estado sólido, se tendrá, para la cantidad total de hielo que debe fundir el cuerpo calentado a $m + n'$ grados:

$$\frac{n' \cdot (a'' - a')}{n'' - n'} + x + \frac{ma}{m - n}$$

debiéndose el primero término de esta cantidad al calor desprendido por el cuerpo antes de pasar al estado sólido; el segundo término es el efecto del calor que se desarrolla en el momento de dicho pasaje, y el tercero se debe al calor perdido por el cuerpo en su estado sólido, enfriándose hasta cero. Si se iguala la cantidad precedente a la cantidad a' de hielo fundido, se tendrá:

$$\frac{n' \cdot (a'' - a')}{n'' - n'} + x + \frac{ma}{m - n} = a'$$

de donde se deduce:

$$x = \frac{n'' a' - n' a'}{n'' - n'} - \frac{ma}{m - n};$$

para la exactitud del resultado, es conveniente hacer n y n' poco considerables.

Esta experiencia no dará solamente el valor de x ; se tendrán además los calores específicos del cuerpo en sus dos estados de solidez y fluidez (literal — N. del Tr.), puesto que se conocen las cantidades de hielo que puede fundir en estos dos estados, enfriándose un número dado de grados.

La determinación del calor que desarrollan la combustión y la respiración no presenta más dificultad; se quemarán los cuer-

pos combustibles en el interior de la esfera; se dejará respirar allí los animales; pero, como la renovación del aire es indispensable en estas dos operaciones, será necesario establecer una comunicación entre el interior de la esfera y la atmósfera que la rodea; y, para que la introducción de una nueva porción de aire no cause ningún error sensible en los resultados, será necesario llevar a cabo estas experiencias a una temperatura muy poco distinta de cero, o, por lo menos, reducir a esta temperatura al aire que se introduzca.

El estudio del calor específico de los distintos gases es más difícil, a causa de su poca densidad; pues, si nos contentáramos en encerrarlos en vasos como los otros flúidos, la cantidad de hielo fundido sería tan poco considerable, que el resultado de la experiencia se haría muy incierto; pero, si en el interior de la esfera se coloca un tubo arrollado en forma de serpentín, estableciendo en este tubo una corriente de aire de cualquier naturaleza, y por medio de dos termómetros colocados en esa corriente, uno a su entrada y otro a su salida de la esfera se determina el número de grados en que el aire se enfría durante su pasaje, se podrá enfriar así una considerable masa de aire y determinar con precisión su calor específico: el mismo procedimiento puede ser empleado para obtener la cantidad de calor que se desprende en la condensación de los vapores de los diferentes flúidos.

Se ve, por el detalle que acabamos de dar, que el método precedente se extiende a todos los fenómenos en los que hay desprendimiento o desarrollo de calor. Se podrá siempre, en esos diferentes casos, determinar las cantidades de calor que se desprenden o absorben, y relacionarlos con una unidad común; por ejemplo, al calor necesario para elevar una libra de agua de cero a ochenta grados; así se podrán conocer y comparar entre sí las cantidades de calor que producen las combinaciones del aceite de vitriolo con el agua, de ésta con la cal viva, de la cal viva con el ácido nitroso, etc.; así como las que se desarrollan en las combustiones del fósforo, del azufre, del carbón, del piróforo, etc.; en la detonación del nitro; en la respiración de los animales, etc.; lo que era imposible mediante los métodos conocidos hasta ahora.

Nosotros no hemos considerado una esfera de hielo más

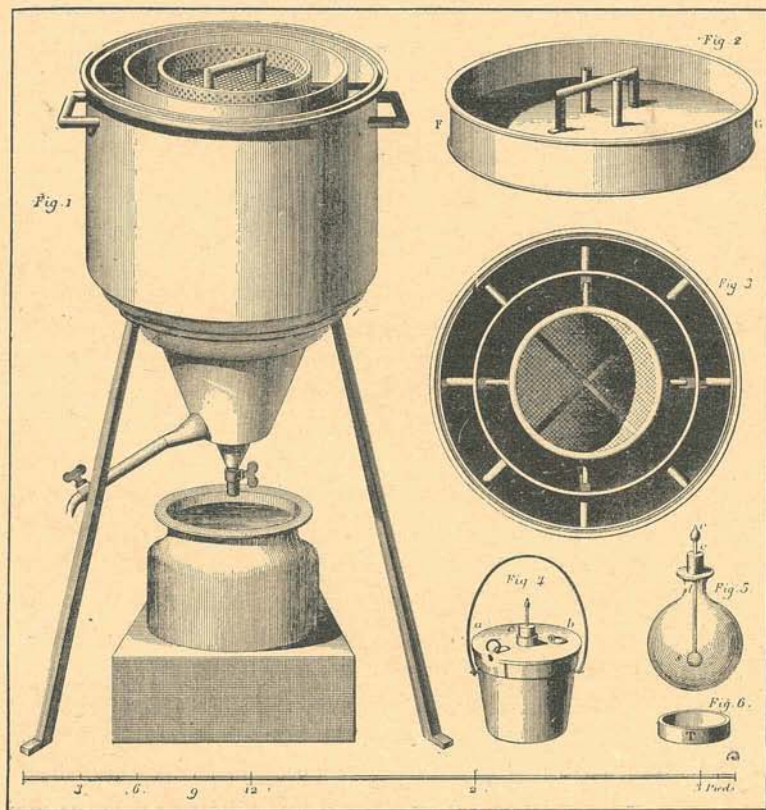
que para una mejor comprensión del método que hemos utilizado. Sería muy difícil procurarse tales esferas, pero las hemos suplido por medio de la máquina siguiente.

La figura 1 de la plancha primera representa esta máquina vista en perspectiva; la figura 3 representa su corte horizontal; el corte vertical, representado en la plancha II, fig. 1, muestra su interior. Su capacidad está dividida en tres partes para mejor entendimiento, las distinguiremos con los nombres de « capacidad interior », « capacidad media » y « capacidad exterior ». La capacidad interior *ffff* (fig. 1 y 3), plancha II) está formada por un enrejado (*grillage* en el original) de alambre de hierro sostenido por algunos montantes del mismo metal; es en esta capacidad que se colocan los cuerpos sometidos a la experiencia; su parte superior *LM* se cierra por medio de la tapa *HG* representada separadamente (plancha II, fig. 2); está enteramente abierta por arriba, y la parte inferior está formada por un enrejado de alambre de hierro.

La capacidad media *bbbb* (fig. 1, plancha II) está destinada a contener el hielo que debe rodear la capacidad interior, y que debe fundir el calor del cuerpo puesto en experiencia; este hielo está sostenido y retenido por un enrejado *mm*, bajo el cual hay un tamiz *nn*; uno y otro están representados separadamente (plancha II, fig. 4 y 5). A medida que el hielo es fundido por el calor del cuerpo colocado en la capacidad interior, el agua corre a través del enrejado y del tamiz; cae luego a lo largo del cono *ccd* (plancha II, fig. 1) y el tubo *xy*, y se recoge en el vaso *P* colocado debajo de la máquina; *k* es un robinete por medio del cual se puede detener a voluntad el escurrimiento del agua interior. Finalmente, la capacidad exterior *aaaaa* está destinada a recibir el hielo que debe anular el efecto del calor del aire exterior y el de los cuerpos vecinos; el agua que produce la fusión de este hielo corre a lo largo del tubo *ST*, que se puede abrir por medio del robinete *r*. Toda la máquina está recubierta por la tapa *FG* (plancha I, fig. 2), enteramente abierta por su parte superior y cerrada en su parte inferior; está construída de hierro blanco pintado al aceite para preservarlo del orín.

Para ponerla en experiencia, se llena de hielo picado la capacidad media y la tapa *HI* de la capacidad interior, capa-

cidad exterior y la tapa *FG* de toda la máquina. Se deja luego gotear el hielo interior (denominamos así al contenido en la capacidad media y en la tapa interior, y que es necesario picar bien y prensar fuertemente en la máquina); cuando ha goteado suficientemente, se abre la máquina para colocar



en ella el cuerpo que se quiere someter a la experiencia, y se lo encierra inmediatamente. Se espera que el cuerpo esté enfriado completamente y que la máquina haya goteado suficientemente; en seguida se pesa el agua recogida en el vaso *P*. Su peso mide exactamente el calor desprendido por el cuerpo; puesto que es visible que este cuerpo está en la misma posición que en el centro de la esfera de que hemos hablado, pues todo su calor es detenido por el hielo interior, y que este hielo

está protegido contra todo otro calor por el hielo encerrado en la tapa y la capacidad exterior.

Las experiencias de este tipo duran quince, diez y ocho o veinte horas; a veces, para acelerarlas, colocamos hielo bien escurrido en la capacidad interior, y cubrimos con dicho hielo los cuerpos que queremos enfriar.

La figura 4 de la plancha 1 representa un matraz de vidrio cuyo tapón está atravesado por el tubo *cd* del pequeño termómetro *rs*; es necesario servirse de matraces similares todas las veces que se opere con ácidos, y, en general, con sustancias que puedan tener alguna acción sobre los metales.

T (fig. 6, plancha I) es un pequeño cilindro hueco que se coloca en el fondo de la capacidad interior para sostener los matraces.

Es esencial que, en esta máquina, no haya ninguna comunicación entre la capacidad media y la capacidad exterior, lo que se comprobará fácilmente llenando de agua la capacidad exterior. Si existiese una comunicación entre estas capacidades, el hielo fundido por la atmósfera, cuyo calor actúa sobre la envoltura de la capacidad exterior, podría pasar a la capacidad media, y entonces el agua que escurre de esta última capacidad no sería ya la medida del calor perdido por el cuerpo sometido a la experiencia.

Cuando la temperatura de la atmósfera está por arriba de cero, su calor no puede llegar sino muy difícilmente hasta la capacidad media, puesto que es detenido por el hielo de la tapa y de la capacidad exterior; pero, si la temperatura exterior estuviera por debajo de cero, la atmósfera podría enfriar el hielo interior; por lo tanto es esencial operar en una atmósfera cuya temperatura no estuviera por debajo de cero; así, en tiempo de heladas, será necesario encerrar la máquina en una habitación que se cuidará de calentar interiormente; aún es necesario que el hielo que se utiliza no esté por debajo de cero; si se diera este caso, sería necesario picarlo, extenderlo en capas muy delgadas, y tenerlo así durante algún tiempo en un lugar cuya temperatura esté por arriba de cero.

El hielo interior retiene siempre una pequeña cantidad de agua que se adhiere a su superficie, y se podría creer que esta agua podría entrar en el resultado de nuestras experien-

cias; pero es necesario observar que, al comienzo de cada experiencia, el hielo está ya embebido en toda la cantidad de agua que se puede retener así; de manera que, si una pequeña parte del hielo fundido por el cuerpo queda adherida al hielo interior, la misma cantidad, o muy aproximadamente, de agua primitivamente adherida a la superficie del hielo, debe desprenderse y escurrirse hasta el vaso *P*, pues la superficie del hielo interior cambia extremadamente poco en el transcurso de la experiencia.

Cualesquiera sean las precauciones que nosotros hayamos tomado, nos ha sido imposible impedir que el aire exterior penetrase en la capacidad interior; dado que la temperatura es de 9 a 10 grados, el aire encerrado en esta capacidad es específicamente más pesado que el aire exterior; se escapa por el tubo *xy*, y es reemplazado por el aire exterior que penetra por la parte superior de la máquina, y que deposita una parte de su calor sobre el hielo interior; se establece, pues, así, en la máquina una corriente de aire tanto más rápida cuanto la temperatura exterior es más considerable, lo que funde continuamente el hielo interior; se puede anular, en gran parte, el efecto de esta corriente de aire cerrando el robinete *k*; pero vale más no operar sino cuando la temperatura exterior no sobrepase 3 ó 4 grados; pues nosotros hemos observado que entonces la fusión del hielo interior, ocasionada por la atmósfera, es insensible, de manera que podemos, a esta temperatura, responder de la exactitud de nuestras experiencias sobre los calores específicos de los cuerpos con una aproximación de un cuadragésimo, y aun de un sexagésimo, si la temperatura exterior no es superior a uno o dos grados.

Nosotros hemos hecho construir dos máquinas parecidas a las que acabamos de describir; una de ellas está destinada a las experiencias en las cuales no es necesario renovar el aire interior; la otra máquina sirve para las experiencias en las cuales la renovación del aire es indispensable, tales como las de la combustión y la respiración; esta segunda máquina no difiere de la primera más que en las dos tapas, que están perforadas por dos agujeros, a través de los cuales pasan dos pequeños tubos que sirven de comunicación entre el aire

interior y el exterior; por medio de ellos se puede insuflar aire atmosférico sobre los cuerpos combustibles; estos tubos están representados en la figura 2 de la plancha I.

Presentaremos ahora el resultado de las principales experiencias que hemos realizado con ayuda de estas máquinas ⁽¹⁾.

ARTICULO II

EXPERIENCIAS SOBRE EL CALOR, HECHAS SEGUN EL METODO PRECEDENTE

Nosotros relacionaremos los calores específicos de todos los cuerpos al del agua común tomado como unidad; por un promedio tomado entre varias experiencias que concuerdan aproximadamente entre sí, hemos encontrado que el calor necesario para fundir una libra de hielo podía elevar en 60 grados la temperatura de una libra de agua; de manera que, si se mezclan una libra de hielo a cero y una libra de agua a 60 grados se tendrán dos libras de agua a cero como resultado de la mezcla; de ahí se deduce que el hielo absorbe 60 grados de calor al transformarse en flúido; lo que puede enunciarse de esta manera, independientemente de las divisiones arbitrarias de los pesos y del termómetro: « el calor necesario para fundir el hielo es igual a las tres cuartas partes del que puede elevar el mismo peso de agua desde la temperatura del hielo fundente a la del agua hirviente ». Partiendo de este resultado y de las experiencias que hemos hecho sobre varias sustancias sólidas y flúidas, hemos formado la siguiente tabla de sus calores específicos:

(1) Después de la lectura de esta memoria hemos visto, en una disertación muy interesante de M. Vilke sobre el calor, que está impresa en las memorias de Estocolmo para el año 1781, que este sabio físico había tenido antes que nosotros la idea de emplear la fusión de la nieve por los cuerpos, para medir su calor; pero la dificultad de recoger el agua producida por la fusión de la nieve, el tiempo considerable que los cuerpos empleaban para perder así su calor, y que, según nuestras experiencias, puede ser de doce horas y aún más; el calor que la nieve recibe, durante este intervalo, de la atmósfera y de los otros cuerpos que lo rodean; todas estas razones lo han forzado a abandonar este medio y a recurrir al método de las mezclas, puesto que no ha ensayado rodear la nieve que los cuerpos deben fundir, con una capa exterior de nieve o de hielo que la proteja del calor de la atmósfera. Es en esta envoltura exterior que reside la ventaja de nuestras máquinas, ventaja que nos ha puesto en condiciones de medir cantidades de calor que, hasta el presente, no lo habían podido ser, tales como el calor que se desprende en la combustión y en la respiración; finalmente, en estas experiencias, el hielo es preferible a la nieve.

CALORES ESPECÍFICOS

Del agua común	1
De la fundición o del hierro batido	0,109985
Del vidrio sin plomo o del cristal	0,1929
Del mercurio	0.029
De la cal viva del comercio	0,21689
De la mezcla de agua y de cal viva, en la proporción de 9 a 16	0,439116
Del aceite de vitriolo cuyo peso específico es 1,87058	0,334597
De la mezcla de este aceite con el agua, en la proporción de 4 a 3	0,603162
De la mezcla del mismo aceite de vitriolo con el agua, en la proporción de 4 a 5	0,663102
Del ácido nítrico no fumante, cuyo peso específico es 1,29895	0,661391
De la mezcla de este ácido con la cal viva, en la proporción de $9\frac{1}{3}$ a 1	0,61895
De la mezcla de una parte de nitro con ocho partes de agua	0,8167

Nos proponemos continuar esta tabla, comprendiendo en ella un mayor número de substancias; sería interesante tener en una misma tabla los pesos específicos de los cuerpos, las variaciones que ocasiona el calor en estos pesos, o, lo que es lo mismo, las dilatabilidades de los cuerpos y sus calores específicos; la comparación de estas cantidades permitiría quizás descubrir entre ellas relaciones notables; hemos hecho, desde este punto de vista, un gran número de experiencias sobre las dilataciones, que nos proponemos publicar cuando estén enteramente terminadas.

Como la tabla precedente no contiene sino los resultados de nuestras experiencias, mostraremos, con algunos ejemplos, cómo los hemos deducido de las mismas experiencias. Para determinar, por ejemplo, el calor específico de la fundición, hemos colocado 5 libras, 15 onzas, 4 gruesos, 33 granos de fundición arrollada en un vaso de fundición (N. del Tr.: en las unidades de peso se ha traducido la palabra « gros » literalmente como « grueso »), cuyo peso era de 1 libra, 4 onzas, 4 gruesos, 60 granos, y cuya tapa, hecha del mismo material, pesaba 7 onzas, 1 grueso, 15 granos; así,

el peso total de la masa de fundición era de 7 libras, 11 onzas, 2 gruesos, 36 granos, o de 7,7070319 ⁽¹⁾; hemos calentado esta masa en un baño de agua hirviente, en el cual ha tomado aproximadamente 78 grados de calor; en seguida lo hemos transportado a una de nuestras máquinas; once horas después, se había enfriado toda la masa hasta cero, y la máquina, bien escurrida, proporcionó 17 libras, 5 onzas, 4 granos, o sea 1,109795 ⁽¹⁾ de hielo fundido; esta cantidad de hielo, dividida por el producto de la masa de fundición, expresada en partes de libra, y del número de grados en que su temperatura se elevó por arriba de cero, es decir por el producto $7,7070391 \times 78$, da la cantidad de hielo que una libra de fundición puede fundir al enfriarse un grado; multiplicando esta última cantidad por 60, se tiene aquella que una libra de fundición, calentada a 60 grados, puede fundir al enfriarse hasta cero; se halla así 0,109985 ⁽¹⁾ para esta cantidad, en nuestra experiencia; pero una libra de agua enfriándose 60 grados, puede fundir una libra de hielo; el calor específico de la fundición es, pues, al del agua, como 0,109985 es a 1; de manera que, si se toma éste como unidad, el calor específico de la fundición será 0,109985; una segunda experiencia nos ha dado el mismo resultado con una aproximación de un octogésimo.

Para determinar el calor específico de los flúidos, del ácido nitroso, por ejemplo, hemos colocado 4 libras de este ácido en un matraz de vidrio sin plomo, que pesaba 8 onzas 4 gruesos, y hemos calentado la masa entera en un baño de agua hirviente; un pequeño termómetro colocado en el interior del matraz indicaba 80 grados. Colocando en seguida este matraz en una de nuestras máquinas, hemos observado que al cabo de veinte horas el todo se había enfriado hasta cero. La máquina, bien escurrida, proporcionó 3 libras, 10 onzas, 5 gruesos, o 3'',6640625 de hielo fundido; es necesario descontar el hielo que el calor del vaso ha debido fundir; siendo el calor específico del vidrio igual a 0,1929, una libra de vidrio, enfriándose 60 grados, debe fundir 0'',1929 de hielo; de donde es fácil deducir que el matraz de vidrio que hemos usado ha debido fundir, enfriándose 80 grados, 0'',1366420 de hielo;

(1) En libras.

luego, la cantidad fundida por el ácido ha sido de $3'',5274205$. Dividiendo esta cantidad por el producto de la masa del ácido y del número de grados en que su temperatura se ha elevado por arriba de cero, y multiplicando el cociente por 60, se encuentra que una libra de ácido nitroso, enfriándose 60 grados, puede fundir $0'',661391$ de hielo; de donde se deduce que el calor específico del ácido mencionado es igual a $0,661391$. Es así que hemos confeccionado la tabla precedente, en ella se supone que el hielo, transformándose en agua, absorbe 60 grados de calor; he aquí las experiencias por las cuales hemos llegado a este resultado.

En un vaso de fundición que, con su tapa hecha del mismo material, pesaba $1'',7347$, hemos colocado $2'',74349$ de agua, y, después de haber calentado el todo a 79 grados y medio, lo hemos puesto en una de nuestras máquinas; diez y seis horas después toda la masa estaba enfriada hasta cero; la máquina, bien escurrida, proporcionó $3'',966797$ de hielo fundido; el vaso ha debido fundir $0'',252219$; la cantidad de hielo fundido por el agua ha sido, pues, $3'',714578$; ahora bien, si $3'',714578$ corresponde a 79 grados y medio, $2'',74349$ corresponderán a 58 grados, 716; este es el número de grados que debe tener el agua después de esta experiencia, para fundir un peso igual de hielo.

Hemos determinado en seguida este número de una manera distinta: volcando en una de nuestras máquinas 4 libras, 8 onzas de agua a 70 grados, hemos retirado 9 libras, 12 onzas de agua al grado de congelación; en esta experiencia, 4 libras, 8 onzas de agua a 70 grados han fundido 5 libras, 4 onzas de hielo; de donde se deduce que, para fundir 4 libras, 8 onzas, el agua debería estar a 60 grados: una experiencia análoga nos ha dado 60,856 para este mismo número; tomando un promedio entre estos resultados y algunos otros similares hemos fijado en 60 el número de grados que el hielo absorbe al transformarse en agua; de donde se deduce que, recíprocamente, la transformación del agua en hielo desarrolla 60 grados de calor.

Las experiencias sobre el calor desprendido en las combinaciones nos han dado los resultados siguientes:

CANTIDAD DE HIELO FUNDIDO POR UNA LIBRA DE MEZCLA

	Libras	Onzas	Gruesos	Granos
De aceite de vitriolo, de peso específico 1,87058, con agua, en la proporción de 4 a 3	0	14	2	62
Del mismo aceite con agua, en la proporción de 4 a 5	0	12	6	48
De agua con cal viva del comercio, en la proporción de 9 a 16	1	8	3	60
De ácido nitroso no fumante, de peso específico 1,29895, con cal viva, en la proporción de $9\frac{1}{3}$ a 1	1	0	2	0

Estas cantidades de hielo fundido son el producto de la sola combinación de las substancias. Las hemos mezclado a cero grado en vasos a la misma temperatura, y el calor producido por su mezcla, enfriándose hasta cero en nuestras máquinas, ha fundido las cantidades indicadas de hielo. Hemos reducido todos nuestros resultados a lo que da una libra de la mezcla de estas substancias, a fin de que sean más fácilmente comparables; pero, para dar más precisión a nuestras experiencias, hemos empleado masas más considerables: hemos combinado, por ejemplo, 2 libras de aceite de vitriolo a cero con una libra y media de agua, también a cero, y el calor resultante de esta combinación ha fundido 3 libras, 2 onzas, 2 gruesos de hielo; de donde hemos deducido que una libra de esta mezcla debe fundir 14 onzas, 2 gruesos, 62 granos de hielo.

Finalmente, hemos obtenido los resultados siguientes sobre la combustión de los cuerpos y sobre el calor animal:

CANTIDAD DE HIELO FUNDIDO

	Libras	Onzas	Gruesos	Granos
Por la detonación de una onza de nitro con un tercio de onza de carbón ...	0	12	0	0
Por la detonación de una onza de nitro con una onza de flor de azufre	2	0	0	0
Por la combustión de una onza de fósforo	5	4	0	48
Por la combustión de una onza de éter vitriólico	4	10	2	36
Por la combustión de una onza de carbón	6	2	0	0
Por el calor de un cerdo de la India en diez horas	0	13	1	$13\frac{1}{2}$

Estas cantidades son el resultado de las experiencias siguientes:

Hemos hecho detonar en una de nuestras máquinas 1 onza, 4 gruesos de nitro con 4 gruesos de carbón, y hemos obtenido 1 libra, 2 onzas de hielo fundido; lo que da, para 1 onza de nitro, 12 onzas de hielo fundido.

La detonación de una onza de nitro con una onza de flor de azufre nos ha dado 2 libras de hielo fundido.

Hemos tomado cuatro pequeños vasos de tierra, y en cada uno de ellos colocamos 1 grueso de fósforo; poniendo en seguida esos vasos en una de nuestras máquinas, hemos inflamado sucesivamente, con un hierro al rojo, el fósforo que contenían, dejando un intervalo de 25 a 30 minutos entre cada inflamación; el termómetro exterior estaba entre 0 y 1 grado, de modo que el calor del aire atmosférico que ha penetrado en la máquina, para reemplazar el que ha sido absorbido por el fósforo en la combustión, no ha podido causar ningún error sensible en esta experiencia; no todo el fósforo se quemó: quedaron 24 granos, aproximadamente; la máquina, bien escurrida, ha dado 2 libras 13 onzas 7 gruesos de hielo fundido, y esta cantidad, que es debida a la combustión de 3 gruesos 48 granos de fósforo, da 6 libras 4 onzas 48 granos para la cantidad de hielo que pueda fundir una onza de fósforo, al quemarse.

Cuando el termómetro exterior marcaba dos grados, hemos puesto en una de nuestras máquinas un frasco lleno de éter, que hemos inflamado inmediatamente; para mantener la combustión introdujimos aire fresco en la máquina, por medio de una tobera; hemos quemado, de esta manera, 5 gruesos 60 granos de éter; la máquina escurrida ha proporcionado 3 libras 6 onzas 1 grueso 36 granos de hielo fundido, lo que da 4 libras 10 onzas 2 gruesos 36 granos para la cantidad de hielo que puede fundir una onza de éter.

Hemos tomado un pequeño vaso de tierra que hemos hecho secar; después de haberlo colocado en una balanza y de haberlo tarado muy exactamente, hemos colocado en él carbones ardientes, soplándoles encima para mantenerlos rojos; hemos escogido el instante en que su peso era de una onza, y los hemos encerrado inmediatamente en una de nuestras máqui-

nas; su combustión en el interior de esta máquina, ha sido mantenida por medio de una tobera; se han consumido en 32 minutos; al comienzo de la experiencia el termómetro exterior marcaba 1 grado y medio; subió hasta dos grados y medio durante la experiencia; la máquina bien escurrida ha proporcionado 6 libras 2 onzas de hielo fundido; éste es el producto de la combustión de una onza de carbón.

Estando el termómetro exterior a 1 grado y medio, hemos puesto en una de nuestras máquinas un cerdo de la India cuyo calor interior era de 32 grados, aproximadamente, y, por consiguiente, poco diferente del calor del cuerpo humano; para que no sufriera durante la experiencia nosotros lo habíamos colocado en un pequeño canasto rodeado de algodón y cuya temperatura era igual a 0; el animal quedó 5 horas 36 minutos en la máquina; durante este intervalo le hemos renovado el aire cuatro o cinco veces, por medio de una tobera; al retirarlo, hemos dejado el canasto en la máquina y hemos esperado que estuviera frío; la máquina bien escurrida ha proporcionado, aproximadamente, 7 onzas de hielo fundido.

En una segunda experiencia, marcando todavía el termómetro exterior un grado y medio, el mismo cerdo de la India quedó durante 10 horas 36 minutos en la máquina, y el aire no fué renovado más que tres veces; la máquina proporcionó 14 onzas 5 gruesos de hielo fundido; el animal no pareció sufrir nada durante estas experiencias.

Según la primera experiencia, la cantidad de hielo que puede fundir el animal durante 10 horas es de 12 onzas 4 gruesos; esta cantidad, para la segunda experiencia, es, en el mismo intervalo, de 13 onzas 6 gruesos 27 granos; el promedio entre estos dos resultados es de 13 onzas 1 grueso 13 granos y medio

ARTICULO III

EXAMEN DE LAS EXPERIENCIAS PRECEDENTES, Y REFLEXIONES SOBRE LA TEORIA DEL CALOR

Para formar una teoría completa del calor, sería necesario tener un termómetro, dividido proporcionalmente a las cantidades de calor encerradas en el fluido que lo componen, y que pudiera medir todos los grados posibles de temperatura.

Sería necesario conocer también la ley que existe, entre el calor de las diferentes substancias y los grados correspondientes de este termómetro, de manera que tomando los números de estos grados como abscisas de una curva, y los calores correspondientes de un cuerpo como sus ordenadas, se podría trazar la curva que pasa por sus extremidades. Si el cuerpo es el mismo fluido que forma el termómetro, esta curva sería una línea recta, puesto que se supone que el termómetro indica por sus divisiones el calor de este fluido; pero es posible que los grados de calor no crezcan proporcionalmente en los diferentes cuerpos y que así la curva no sea la misma para cada uno de ellos.

Sería necesario, además, conocer las cantidades absolutas de calor encerradas en los cuerpos a una temperatura dada. Finalmente sería necesario saber las cantidades de calor libre que se forman o que se pierden en las combinaciones y en las descomposiciones.

Por medio de estos datos, se estaría en condiciones de resolver todos los problemas relativos al calor, en los diversos cambios que los cuerpos sufren por su acción unos sobre otros; pero estos datos no pueden ser sino el resultado de un número casi infinito de experiencias muy delicadas y hechas a grados muy diferentes de temperatura. Estamos todavía muy lejos de conocerlos; por lo tanto nos dedicaremos al examen de algunos problemas interesantes sobre el calor.

Las experiencias consignadas en el artículo precedente nos dan las relaciones de las cantidades absolutas del calor de los cuerpos; dichas experiencias no nos permiten conocer más que las relaciones de las cantidades de calor necesarias para elevar un mismo número de grados su temperatura; de manera que el calor específico, que hemos determinado precedentemente, no es, propiamente hablando, más que la relación de las diferencias de las cantidades absolutas de calor; para que expresara la relación de estas cantidades en sí mismas, sería necesario suponerlas proporcionales a su diferencia; ahora bien, esta hipótesis es muy precaria, y no debe ser admitida sino después de un gran número de experiencias. Un medio fácil de asegurarse de ello es observar si las cantidades de hielo fundido por los cuerpos al enfriarse 300 o 400 grados,

están en la misma relación que cuando su enfriamiento no es más que 60 u 80 grados; es un tema que nos proponemos examinar en otra memoria.

Todos los cuerpos de la tierra, y el planeta mismo, están penetrados de una gran cantidad de calor, del cual nos es imposible privarlo por completo, cualquiera sea el grado a que bajemos su temperatura. El 0 del termómetro indica, por consiguiente, un calor considerable, y es interesante conocer, en grados de termómetro, este calor común a todo el sistema de los cuerpos terrestres. Este problema se reduce a determinar la relación entre la cantidad absoluta de calor encerrado en un cuerpo, cuya temperatura es cero, y el aumento de calor que eleva en un grado su temperatura. La simple mezcla de las sustancias no puede hacernos descubrir esta relación, puesto que los cuerpos no se calientan mutuamente más que en virtud de su exceso de temperatura; aquella que les es común debe quedar desconocida; de la misma manera que el movimiento general que nos transporta en el espacio no se manifiesta en los movimientos que los cuerpos se comunican entre sí en la superficie de la Tierra. Si el calor que se desprende de las combinaciones no fuera el efecto de una desigualdad de temperatura entre las sustancias que se combinan, podría quizás conducirnos al conocimiento de la relación que nosotros buscamos; veamos pues qué provecho se puede extraer de estos fenómenos.

Sea x la relación entre el calor contenido en el agua a cero y aquel que puede elevar en un grado su temperatura; x expresará el número de grados del termómetro, que representa el calor del agua a cero, y, puesto que 60 grados de calor de una libra de agua pueden fundir una libra de hielo, el calor total contenido en una libra de agua a cero podrá fundir

$$\frac{x}{60 \text{ libras}} \text{ de hielo.}$$

Consideremos dos sustancias cualesquiera reducidas a cero de temperatura: sean m y n sus pesos expresados en partes de la libra tomada como unidad, a y b las relaciones entre las cantidades de calor encerradas en una libra de cada una de estas sustancias a cero y las que contienen una libra de agua a la misma temperatura; supongamos que combinándolas a,

cero, su mezcla se calienta y funde, enfriándose hasta cero un número g de libras de hielo; supongamos también que el calor libre que se produce en la operación de la combinación misma puede fundir un número y de libras de hielo debiéndose suponer negativo a tal número, si es que hay pérdida de calor libre; finalmente, llamemos c la relación entre el calor contenido en una libra de la mezcla a cero y el que encierra una libra de agua a la misma temperatura.

La cantidad de hielo que puede fundir todo el calor contenido en una libra de la primera sustancia es visiblemente

igual a $\frac{ax}{60}$; así para el número m de libras, esta cantidad

será $\frac{ma}{60}$; análogamente $\frac{nbx}{60}$ será la cantidad de hielo

que puede fundir el calor contenido en el número n de libras de la segunda sustancia; sumando estas dos cantidades

a y , se tendrá $\frac{(ma+nb).x}{60} + y$ como expresión de la cantidad total de hielo que puede fundir el calor libre después

de la combinación. Pero la cantidad de hielo fundido por el enfriamiento de la mezcla es g , y la que puede fundir el calor que queda todavía en la mezcla es

$\frac{(m+n).cx}{60}$ así, pues,

$\frac{(m+n).cx}{60} + g$ es una segunda expresión de la cantidad de

hielo que puede fundir todo el calor libre existente después de la combinación, igualando esta expresión a la precedente se tendrá:

$$\frac{(ma + nb)x}{60} + y = \frac{(m + n)cx}{60} + g;$$

de donde se deduce

$$x = \frac{60 \cdot (g - y)}{m(a - c) + n(b - c)}$$

He aquí, pues, una expresión muy simple del número de grados a los cuales corresponde el calor del agua a cero; pero

ella presupone que se conoce a , b , c , y , y hemos visto la incertidumbre que existe a este respecto.

En algunos ensayos que ya se han hecho para establecer una teoría del calor, se ha supuesto que la cantidad de calor libre es siempre la misma antes y después de las combinaciones; se ha supuesto, además, que los calores específicos de los cuerpos expresan las relaciones de sus cantidades absolutas de calor, o, lo que es lo mismo, que sus aumentos de calor correspondientes a aumentos iguales de temperatura son proporcionales a sus cantidades absolutas de calor; en estas dos hipótesis, las más simples que se puedan imaginar, es $y = 0$, y se puede tomar como valores para a , b , c los de los calores específicos que hemos determinado en el artículo precedente; se tendrá así:

$$x = \frac{60 g}{m(a - c) + n(b - c)}$$

Ahora no se trata más que de aplicar esta fórmula a los resultados de las diversas combinaciones; puesto que, si se encuentra constantemente el mismo valor de x , cualquiera sea la naturaleza de las sustancias que se combinan, esto será una prueba de la variedad de esas hipótesis; es con el objeto de verificar un punto tan interesante de la teoría del calor, que nosotros hemos hecho varias experiencias, indicadas anteriormente.

Consideraremos en primer lugar la combinación del agua y de la cal viva; mezclándola a la temperatura de cero grados, en la proporción de 9 a 16, hemos observado que una libra de esta mezcla, enfriándose hasta cero, fundió 1 libra 8 onzas 3 gruesos 62 granos, o $1'',52995$ de hielo; así, en este caso, $g = 1,52995$; inmediatamente se tiene $m = 9/15$, $n = 16/25$; el calor específico del agua $a = 1$; el calor específico de la cal viva $b = 0,21689$; y el calor específico de la mezcla $c = 0,439116$; estos valores, sustituidos en la fórmula anterior, dan

$$x = 1537,8$$

así, en esta experiencia, el calor del agua a cero corresponde a $1,537$ grados $4/5$ al termómetro, es decir, que es, aproxima-

damente, mil quinientos treinta y ocho veces más grande que el que eleva en un grado su temperatura.

La mezcla de aceite de vitriolo y de agua, en la relación de 4 a 3, calculado de la misma manera, da

$$x = 3241,9$$

La mezcla de aceite de vitriolo y de agua, en la relación de 4 a 5, da

$$x = 1169,1$$

Se encuentra finalmente, por la mezcla de ácido nitroso y de cal viva en la relación 9 1/3 a 1

$$x = 1189/-0,01783$$

Este denominador negativo da a x un valor físicamente imposible; probaría por consiguiente la falsedad de las hipótesis de las cuales hemos partido, si los calores específicos que hemos empleado fueran rigurosamente exactos.

Se puede añadir a estos valores de x el que M. Kirwan ha deducido de la comparación de los calores específicos del agua y del hielo; según este excelente físico, siendo el calor específico del agua igual a 1, el del hielo es 0,9; ahora bien, si se admite que una libra de agua a cero se hiela de golpe, des- arrollará, según lo que precede, una cantidad de calor capaz de fundir una libra de hielo; se podrá, por lo tanto, aplicar a este caso la fórmula anterior, haciendo $g = 1$, la masa del agua $m = 1$, su calor específico $a \neq 1$, y el calor específico c del resultado, que, en este caso, es una libra de hielo, igual a 0,9; finalmente, como en esta operación no entra ninguna otra sustancia más que el agua, que se supone que se convierte en hielo, se debe hacer $n = 0$; así, la fórmula precedente nos da

$$x = 600$$

La poca concordancia que existe entre estos 5 valores de x parece destruir por completo la teoría fundada sobre las dos hipótesis anteriores; pero se debe observar que una alteración poco considerable, cuanto más de un cuadragésimo, en

los valores de los calores específicos, que hemos utilizado, es suficiente para hacer coincidir todos nuestros resultados; ahora bien, nosotros no podemos asegurar que un error tan pequeño no se haya deslizado en nuestras experiencias; ellas no son, por lo tanto, ni favorables ni contrarias a esta teoría, y todo lo que se puede deducir de ellas es que, si la teoría de que se trata es exacta, se debe llevar por lo menos a 600 grados el calor absoluto de los cuerpos cuya temperatura corresponde al 0 del termómetro; puesto que, para reducir los valores de x a números por debajo de 600, sería necesario suponer errores más grandes de los que nuestras experiencias son susceptibles de estar afectadas.

La precisión con que es necesario establecer los calores específicos de los cuerpos hace muy difícil la verificación de la teoría anterior, por lo menos para las combinaciones que nosotros hemos empleado, lo cual se debe a que, siendo el calor absoluto de los cuerpos muy considerable en relación al que desarrolla en sus combinaciones, un pequeño error en los calores específicos produce errores muy grandes en la cantidad absoluta de calor. Se puede evitar este inconveniente haciendo uso de combinaciones en las cuales el calor desarrollado es una parte considerable del calor absoluto; tales son las combinaciones del aire puro, sea con el fósforo en la formación del ácido fosfórico, sea con el azufre en la formación del ácido vitriólico. Se podría además utilizar las combinaciones, en las cuales se produce un enfriamiento; si nos remitimos a algunas experiencias efectuadas sobre esas combinaciones no podemos dejar de reconocer que, o la cantidad de calor libre no es la misma antes y después de las combinaciones, o los calores específicos no indican las relaciones de las cantidades absolutas de calor.

Para ver mejor esto volvamos a la fórmula

$$x = \frac{60 g \cdot}{m(a - c) + n(b - c)}$$

aunque no la hayamos aplicado más que a las combinaciones en las que hay un desprendimiento de calor, puede servir sin embargo para aquellas en las que se produce un enfria-

miento, haciendo, en este caso, g negativo; y, puesto que el valor de x es necesariamente positivo, el denominador debe ser del mismo signo que g , es decir, que debe ser positivo, hay desprendimiento de calor, y negativo en el caso contrario así, pues, en el primer caso, c es menor que $\frac{ma + nb}{m + n}$; y, en el segundo caso, es mayor.

Ahora se sabe que en las disoluciones del nitro y de la sal marina se produce un enfriamiento; así en lo que se refiere a estas disoluciones, el calor específico c de la mezcla debe ser más grande que $\frac{ma + nb}{m + n}$; luego, mezclando 1 libra de nitro con 8 libras de agua, se tiene $m \neq 1$, $n = 8$, $b = 1$; de donde se deduce $c > 8/9 + a/9$, o $c > 0,88889 + a/9$, siendo a el calor específico del nitro: la experiencia nos ha dado $c = 0,8167$, lo que difiere demasiado con el resultado precedente para que se pueda atribuir esta desviación a los errores de nuestra experiencia. Las que M. Kirwan ha realizado sobre las disoluciones del nitro y de la sal marina se alejan todavía más de la teoría que estudiamos; Hay, por lo tanto, motivos para pensar que dicha teoría no es generalmente exacta, y que, en varios casos, sufre excepciones considerables. El conocimiento de los calores específicos de las sustancias y de sus combinaciones no puede conducirnos, por consiguiente, al del calor que deben desarrollar al combinarse; sólo la experiencia nos puede iluminar a este respecto; la tomaremos como guía en la determinación de los fenómenos del calor que desprenden las combinaciones del aire puro con los cuerpos, fenómenos importantes de los cuales dependen la combustión y el calor animal.

El hielo, transformándose en agua, absorbe, como se ha visto en el artículo anterior, 60 grados de calor; esta propiedad de absorber calor al transformarse en líquido, no es exclusividad de esta aubstancia; y se puede asegurar generalmente que, en el pasaje de todos los cuerpos al estado de líquido, hay absorción de calor; luego, si, en este pasaje, un cuerpo desarrollara calor, sería necesario sustraérselo para hacerlo líquido; por lo tanto, se volvería sólido por el calor y líquido por el frío, lo que está en contradicción con lo que la expe-

riencia nos enseña sobre la fusión de los cuerpos. El caso en el cual no habría, en el pasaje al estado flúido, ni desarrollo ni absorción de calor, aunque matemáticamente posible, es infinitamente poco probable; se lo debe considerar como el límite de las cantidades de calor absorbidas en estos pasajes. De ahí podemos elevarnos a un principio más general, y que se extiende a todos los fenómenos producidos por el calor: « en los cambios provocados por el calor en el estado de un sistema de cuerpos, hay siempre absorción de calor; de manera que el estado que suceda inmediatamente a otro, por una adición suficiente de calor, absorbe dicho calor sin que el grado de temperatura del sistema aumente »; por ejemplo, en el cambio del agua en vapor, hay una absorción incesante de calor, y el termómetro, colocado en el agua hirviendo o en los vapores que de ella se elevan, queda constantemente en el mismo grado; lo mismo debe suceder en todas las descomposiciones que son únicamente efecto del calor, y, si algunas desprenden calor, este desprendimiento es debido a causas particulares; así, en la detonación del nitro con el carbón, el nitro, al descomponerse, absorbe calor; pero como, en el mismo instante, la base del aire fijo contenido en el carbón se apodera del aire puro del nitro, esta combinación produce un calor considerable. Puesto que la dilatación, la fusión y la vaporización son otros tantos efectos del calor, se puede presumir, con bastante verosimilitud, que, en la producción del primero de estos efectos, como en la producción de los otros dos, hay una cantidad de calor que se absorbe, que, por consiguiente, cesa de ser perceptible por el termómetro; pero como el pasaje de un cuerpo por sus diversos estados de dilatación se hace por etapas insensibles, no se puede conocer las cantidades de calor así absorbidas sino por los aumentos de su calor específico; es, pues, muy probable que los calores específicos de los cuerpos aumenten con su temperatura, pero según leyes diferentes para cada uno de ellos, y dependientes de su construcción particular, lo cual es una nueva razón para rechazar el principio que supone las cantidades absolutas de calor como proporcionales a los calores específicos.

El pasaje de los cuerpos de un estado a otro, por acción del calor, debe presentar fenómenos muy singulares, que

siguen las leyes de equilibrio del calor, y sobre las cuales haremos aquí algunas reflexiones.

En un sistema de cuerpos animados por fuerzas cualesquiera, hay a menudo varios estados de equilibrio; así, un paralelepípedo rectángulo, sometido a la acción del peso, estará en equilibrio sobre cada una de sus caras; se le puede concebir así también apoyándolo sobre uno de sus ángulos, siempre que la vertical, que pasa por su centro de gravedad, pase por el vértice de dicho ángulo; pero este estado de equilibrio difiere de los anteriores en que no es firme, siendo suficiente para destruirlo la más ligera sacudida. Sucede lo mismo con el equilibrio del paralelepípedo sobre una de sus caras, si ésta es extremadamente pequeña, en relación a las otras.

Indicado esto, imaginemos en contacto dos cuerpos de temperatura diferente, y hagamos abstracción de los otros cuerpos que pueden aumentar o disminuir su calor; es evidente que el calor no puede ponerse en equilibrio más que de una sola manera, es decir, repartiéndose en los dos cuerpos, de manera que su temperatura sea la misma, pero si, por un aumento o por una disminución de calor, los cuerpos pueden cambiar de estados, existen entonces varios estados de equilibrio del calor. Para evidenciarlo mejor, consideremos una libra de agua en la cual todas las partes estén a una temperatura de c grados por debajo de cero; en este estado, el calor estará en equilibrio y el agua se mantendrá flúida, si c es un número poco considerable; pues entonces las moléculas de agua no pueden disponerse de manera tal como para formar el hielo, sin un desprendimiento de calor, que, por consiguiente opondría tanta más resistencia a la formación de hielo cuanta más dificultad tenga en repartirse. Supongamos ahora que la n sima parte de esta libra de agua se congele, desarrollará un calor igual a $60 \text{ grados}/n$; este calor se distribuirá en el hielo y en el agua, de manera que, si llamamos q la relación entre el calor específico del hielo y el del agua, resultará en toda la masa un aumento de temperatura igual a $60 \text{ grados}/n + q - 1$; habrá pues ahora, equilibrio de calor, como anteriormente, con esta diferencia: que la temperatura de la masa, que antes era de c grados bajo cero, no será más que de $c - \frac{60}{n + q - 1}$ grados por debajo del mismo punto.

Siendo n indeterminado, se le puede variar a voluntad, lo que da una infinidad de estados posibles de equilibrio del calor. Esta cantidad tiene, sin embargo, un límite determinado por esta condición: que la temperatura de la masa no puede jamás sobrepasar el cero del termómetro, puesto que, a este grado, el hielo comienza a fundirse. Por consiguiente,

es necesario que $c - \frac{60}{n + q - 1}$ sea positivo o cero; suponiéndolo nulo, se tendrá como límite de la fracción $1/n$:

$$\frac{1}{n} = \frac{c}{60 + c - cq};$$

y este valor expresa la más grande cantidad de agua que puede ser convertida en hielo, a una temperatura primitiva de c grados por debajo de cero. Si se quiere que toda la masa de agua pueda transformarse en hielo, es necesario suponer $1/n = 1$, lo que nos da $c = 60$ grados/ q ; y, si se hace, como M. Kirwan, $q = 0,9$, se tendrá $c = 66$ grados $2/3$. Tal es, pues, el más pequeño grado de frío que una masa de agua debe tener, para poderse helar por entero, en el supuesto de que todo el calor desarrollado por la formación del hielo no se reparta más que en esta masa; pero este grado es mucho menor en la naturaleza, donde los cuerpos adyacentes absorben una gran parte de este calor.

Las moléculas de agua tienen entre sí, en el estado de hielo, una posición diferente que en estado de fluidez; ahora bien, si se imagina una masa de agua a una temperatura por debajo de cero, y que por una agitación cualquiera, se varía la posición de sus moléculas, se concibe que, en esta variedad infinita de movimientos, algunas de ellas deban tender a encontrarse en la posición necesaria para formar hielo, y, puesto que esta posición es una de aquellas en que el calor está en equilibrio, podrán tomar dicha posición, si el calor que la separa de ella se extiende lo suficientemente pronto a las moléculas vecinas; de manera que el estado de fluidez del agua será tanto menos firme, cuanto su temperatura esté más por debajo de cero.

Ahora, si se compara la teoría precedente con la experiencia, se encontrará que están perfectamente de acuerdo; puesto

que se sabe que se puede conservar el agua flúida a una temperatura de varios grados por debajo de cero, y que, en este estado, una ligera conmoción es a menudo suficiente para convertirla en hielo. Hay motivos para presumir que varios otros pasajes de los cuerpos de un estado a otro, por disminución del calor, ofrecerá fenómenos semejantes.

La afinidad de las moléculas de agua tiende a reunir las y a desprender el calor que las aleja; ahora bien, es muy probable que su disposición en el estado de hielo sea aquella en la cual esta fuerza de afinidad se ejerce con mayor resultado; de donde se deduce que uno de los medios más adecuados para congelar una masa de agua cuya temperatura está por debajo de cero es ponerla en contacto con hielo; el mismo resultado debe extenderse a todas las cristalizaciones, y esto se encuentra confirmado por la experiencia.

El equilibrio entre el calor, que tiende a alejar las moléculas de los cuerpos, y sus afinidades recíprocas, que tienden a reunir las, puede proporcionar un medio muy preciso de comparar entre sí dichas afinidades; si se mezcla, por ejemplo, a una temperatura cualquiera por debajo de cero, un ácido con hielo, éste lo fundirá hasta que esté lo suficientemente debilitado como para que su fuerza atractiva sobre las moléculas de hielo sea igual a la fuerza que hace que estas moléculas se unan unas a otras, y que es tanto más grande cuanto más considerable es el frío; así, el grado de concentración, al cual el ácido cesará de fundir el hielo será tanto más fuerte cuanto más por debajo de cero esté la temperatura de la mezcla, y se podrán referir a los grados de termómetro las afinidades del ácido con el agua, según sus diversos grados de concentración. De aquí se deduce, recíprocamente, que si se somete un ácido debilitado al grado de frío superior al que cesa de disolver el hielo, teniendo entonces las moléculas de agua una mayor afinidad entre sí que con el ácido, deben separarse éste y formar hielo, hasta que haya adquirido el grado de concentración correspondiente a esta temperatura. Comparando así los diferentes ácidos se tendrán, por una serie de experiencias hechas a diversas temperaturas, sus afinidades respectivas con el agua; y, si se consideran de la misma manera todas las otras disoluciones, se podrá medir

con precisión las fuerzas de afinidades de unos cuerpos con otros; pero esta teoría no puede ser desarrollada en tan pocas palabras y será el tema de una memoria particular.

Si la mezcla de un ácido con una cantidad dada de agua produce calor mezclando este ácido con la misma cantidad de hielo producirá calor o frío según que el calor que resulta de su mezcla con el agua sea más o menos considerable que el que es necesario para fundir el hielo; se puede pues suponer para este ácido un grado de concentración que llamaremos K tal que mezclándolo con una parte infinitamente pequeña de hielo no produzca ni frío ni calor. El frío más grande que puede producir la mezcla del ácido con el hielo es aquel al cual el ácido con una concentración igual a K cesa de disolver el hielo; se puede determinar este máximo de frío sin producirlo observando, a grados de frío menores, la ley que existe entre los grados del termómetro y los grados correspondientes de concentración a los cuales el ácido cesa de disolver el hielo.

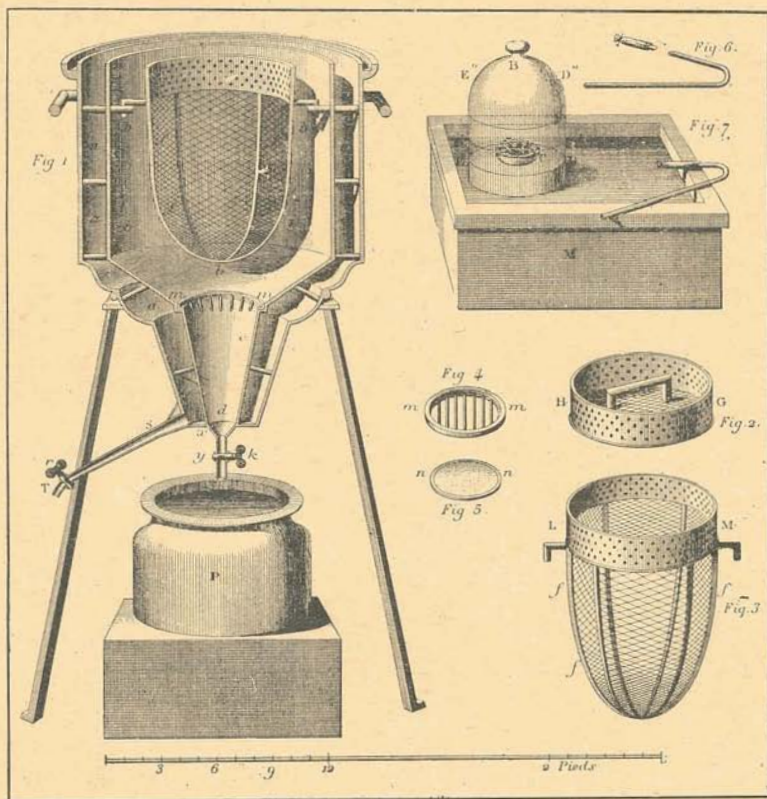
ARTICULO IV

SOBRE LA COMBUSTION Y LA RESPIRACION

Hasta hace poco tiempo no se habían tenido sino ideas vagas y muy imperfectas sobre los fenómenos del calor que se desprende en la combustión y en la respiración. La experiencia había hecho saber que los cuerpos no pueden quemarse ni los animales respirar sin la ayuda del aire atmosférico; pero se ignoraba la manera en que influye en estas dos grandes respiraciones de la naturaleza y los cambios que en ella provocan. La opinión más generalmente extendida no atribuía a este fluido otras funciones que las de refrescar la sangre cuando atraviesa los pulmones y la de retener por su presión la materia del fuego en la superficie de los cuerpos combustibles. Los importantes descubrimientos que se han hecho desde hace unos pocos años sobre la naturaleza de los fluidos aeriformes han extendido mucho nuestros conocimientos sobre este punto; de ellos resulta que una sola especie de aire conocida con los nombres de «aire desflogisticado», «aire puro» o «aire vital» es apto para la combustión, la respiración y la

calcinación de los metales; que el aire de la atmósfera no contiene más que una cuarta parte aproximadamente de dicho flúido, que esta porción de aire es entonces absorbida alterada o convertida en aire fijo por adición de un principio que llamaremos « base de aire fijo » para evitar toda discusión sobre su naturaleza; así pues, el aire no actúa en sus operaciones como una simple causa mecánica, sino como principio de nuevas combinaciones. Habiendo observado M. Lavoisier estos fenómenos, supuso que el calor y la luz que en ellos se desarrollan se debían, por lo menos en gran parte, a los cambios que el aire puro sufre; todo lo que se refiere a la combustión y a la respiración se explica de una manera tan natural y tan simple, en esta hipótesis, que no vaciló en proponerla, si no como una verdad demostrada, por lo menos como una conjetura muy verosímil y digna desde todo punto de vista de la atención de los físicos: es lo que él hizo en una memoria sobre la combustión impresa en el volumen de la Academia para el año 1777 página 592. Mr. Crawford ha presentado una explicación muy similar en una obra sobre este tema, publicada en Londres en 1779; estos dos físicos concuerdan en considerar el aire como la fuente principal del calor que se desarrolla en la combustión y en la respiración; hay, sin embargo, una diferencia esencial entre sus opiniones, que consiste en que M. Lavoisier piensa que el calor desprendido en estos dos fenómenos está combinado en el aire puro, y que este flúido debe a la fuerza expansiva del calor así combinado su estado aeriforme; mientras que, según Mr. Crawford, la materia del calor está libre en el aire puro, que no se desprende sino cuando dicho aire al combinarse, pierde una gran parte de su calor específico. Mr. Crawford apoya esta afirmación sobre experiencias según las cuales él encuentra que el calor específico del aire puro es 87 veces más grande que el del agua común; si estas experiencias fueran exactas, sería fácil hacer ver que el calor libre existente en el aire puro es más que suficiente para producir todos los fenómenos del calor y que, en las mismas combustiones donde se desprenda más calor tales como las del fósforo, una parte considerable del calor libre existente en el aire puro debe combinarse; pero estas experiencias son tan delicadas, que es necesario

haberlas repetido un gran número de veces antes de admitirlas, por lo tanto nos abstendremos de pronunciarnos sobre su exactitud, hasta que hayamos determinado, por nuestro método, los calores específicos de los diferentes aires; nos ocuparemos aquí de comparar las cantidades de calor que se



desprenden en la combustión y en la respiración, con las alteraciones correspondientes del aire puro sin examinar si este calor viene del aire, o de los cuerpos combustibles y de los animales que respiran; con el objeto de determinar estas alteraciones hemos llevado a cabo las experiencias siguientes:

M (plancha II figura 7) representa una gran cubeta llena de mercurio, y sobre la cual hemos colocado una campana *B*, llena de aire desflogisticado; este aire no era perfectamente

puro; sobre 19 partes contenía 16 de aire puro, y tenía aproximadamente $1/57$ de su volumen de aire fijo. Hemos introducido bajo la campana un pequeño vaso de tierra *C*, lleno de brasas que habíamos previamente despojado de su aire inflamable por medio de un fuerte calor, y que era muy parecida a aquellas que habíamos empleado en la experiencia sobre el calor desprendido por la combustión del carbón; encima de la brasa hemos colocado un poco de yesca sobre la cual había una molécula muy pequeña de fósforo, pesando el todo cuanto más, un décimo de grano; el vaso de tierra, con todo lo que contenía, había sido pesado muy exactamente; hemos elevado el mercurio seguidamente en la campana hasta *E* por succión del aire interior, con el fin de que la dilatación del aire ocasionada por la combustión del carbón, no bajara el mercurio demasiado con respecto al nivel del mercurio interior, lo que habría podido hacer salir el aire encerrado bajo la campana. Hecho esto, por medio de un hierro rojo que hemos hecho pasar rápidamente a través del mercurio, hemos inflamado el fósforo, que a su vez lo hizo con la yesca, y por su intermedio, la brasa. La combustión ha durado veinte o veinticinco minutos, y cuando la brasa se extinguió, y todo el aire interior se enfrió a la temperatura de la atmósfera, hemos marcado un segundo trazo en *E'*, hasta donde el mercurio se elevó por la disminución del volumen del aire interior. Hemos introducido inmediatamente álcali cáustico bajo la campana; todo el aire fijo ha sido absorbido, y después de un tiempo suficiente para ello, cuando el mercurio cesó de subir en la campana, hemos marcado un trazo *E''* al nivel de la superficie del álcali cáustico; hemos tenido cuidado de observar en las tres posiciones *E*, *E'*, *E''*, las alturas del mercurio en la campana, por encima de su nivel en la cubeta; el aire de la atmósfera introducido bajo la campana, por medio de un tubo de vidrio ha hecho bajar el mercurio en ella contenido hasta el nivel del mercurio exterior. Hemos retirado en seguida el vaso *C*, que hemos hecho sacar y que hemos pesado muy exactamente.

La disminución de su peso nos ha permitido conocer la cantidad de carbón consumido. El grado de temperatura exterior ha variado muy poco en el intervalo de la experiencia, y la altura del barómetro era de 28 pulgadas, aproximadamente.

Para determinar los volúmenes de aire, contenidos en los espacios $E B D$, $E' B D'$, $E'' B D''$, los hemos llenado de agua común, cuyos pesos respectivos nos han dado en pulgadas cúbicas, los volúmenes de esos espacios; pero, como el aire que estaba encerrado en ellos estaba sometido a presiones desiguales debido a las diferentes de mercurio en la campana, hemos reducido, por medio de esas alturas observadas, el volumen del aire al que hubiera ocupado si hubiera estado comprimido por una columna de mercurio de 28 pulgadas; finalmente, hemos reducido todos los resultados de nuestras experiencias a los que hubieran tenido lugar si la temperatura exterior hubiera sido de 10 grados, partiendo del siguiente dato que nos indica que, hacia la temperatura de 10 grados, el aire se dilata $1/215$ por cada grado de aumento de su temperatura; así, pues, los aires cuyos volúmenes daremos a continuación debe suponerse que están a la temperatura de 10 grados y comprimidos por una columna de 28 pulgadas de mercurio.

En la experiencia precedente había en la campana 202,35 pulgadas de aire desflogisticado; su volumen, por la sola combustión del carbón, se redujo a 170,59 pulgadas, y después de la absorción del aire fijo por el álcali cáustico, el volumen del aire restante no era más que 73,93 pulgadas; el peso del carbón consumido, independientemente de sus cenizas, fué de 17 gramos 2 décimas; los de la yesca y del fósforo reunidos podían ser de medio grano; por otra parte, hemos encontrado, por diversas experiencias, que el peso de las cenizas formadas por las brasas era de 10 granos por onza, aproximadamente; se puede, pues, suponer, muy aproximadamente, que en esta experiencia se han consumido 18 granos de carbón, comprendiendo en este peso su ceniza.

El aire desflogisticado que hemos utilizado contenía, aproximadamente, $1/57$ de su volumen de aire fijo, que no había sido absorbido por el agua sobre la cual había permanecido durante varios meses; esta adhesión íntima del aire fijo al aire puro nos induce a creer que, aun después de la absorción del aire fijo por el álcali cáustico en nuestras experiencias, el aire restante contenía todavía un poco de aire fijo que podemos, sin error sensible, como $1/57$ de su volumen total:

en esta hipótesis, para tener el volumen de todo el aire puro consumido por el carbón, es necesario tomar a la diferencia de volumen del aire antes de la combustión y el volumen del aire restante después de la absorción por el álcali cáustico, y restar a esta diferencia sus 57-avas partes; restando análogamente esta misma cantidad del volumen del aire absorbido por el álcali cáustico, se tendrá el volumen del aire fijo formado por la combustión; se encontrará así que una onza de carbón, al quemarse, consume 4037,5 pulgadas de aire puro, y forma 3021,1 de aire fijo; y, si se toma como unidad el volumen del aire puro consumido, su volumen, después de la combustión, estará reducido a 0,74828.

Para valuar en pesos estos volúmenes de aire puro y de aire fijo, es necesario conocer cuánto pesa una pulgada cúbica de cada uno de ellos; ahora bien, se ha observado que el aire puro es un poco más pesado que el aire atmosférico, en la proporción de 187 a 185, aproximadamente. El peso del aire atmosférico ha sido determinado muy exactamente por M. de Luc. Partiendo de estas determinaciones, se encuentra que a 10 grados de temperatura y a la presión de 28 pulgadas del barómetro, una pulgada cúbica de aire desflogisticado pesa 0,47317 granos. M. Lavoisier ha observado que a la misma temperatura y a la misma presión, una pulgada cúbica de aire fijo pesa, muy aproximadamente, 7/10 de grano. Según estos resultados, una onza de carbón consume, al quemarse, 3,3167 onzas de aire puro, y forma 3,6715 onzas de aire fijo. Así, sobre diez partes de aire fijo hay aproximadamente 9 partes de aire puro y una parte de un principio proporcionado por el carbón, que es la base del aire fijo; pero una determinación tan delicada exige un mayor número de experiencias.

Anteriormente se ha visto que una onza de carbón funde, al quemarse, 6 libras, 2 onzas de hielo; de donde es fácil deducir que, en la combustión del carbón, la alteración de una onza de aire puro puede fundir 29,547 onzas de hielo, y que la formación de una onza de aire fijo puede fundir 26,692 onzas de dicha sustancia.

Es con la mayor circunspección que nosotros presentamos esos resultados sobre las cantidades de calor que desarrolla

la alteración de una onza de aire puro por la combustión del carbón. No hemos podido hacer más que una experiencia sobre el calor desarrollado en esta combustión, y, aunque haya sido hecha en circunstancias tan favorables, no estaremos bien seguros de su exactitud sino después de haberla repetido varias veces. Ya lo hemos dicho, y no podemos insistir demasiado sobre este punto, que, más que el resultado de nuestras experiencias, es el método que hemos utilizado lo que presentamos a los físicos, invitándolos, si este método les parece tener alguna ventaja, a verificar estas experiencias que nos proponemos repetir nosotros mismos con el mayor cuidado.

Al quemar fósforo en el aparato anterior, cuya campana estaba llena de aire puro, hemos observado que 45 granos de fósforo han absorbido, durante su combustión, 65,62 granos de aire puro; y como el resultado de esta combustión es ácido fosfórico, se debe deducir que, en la formación de este ácido, aproximadamente una parte y media, o más exactamente, una parte y $\frac{4}{9}$ de aire puro se combinan con una parte del fósforo, lo que concuerda con el resultado que M. Lavoisier ha encontrado primeramente (Memorias de la Academia, año 1777, pág. 69), y que M. Berthollet ha confirmado por el método de las combinaciones químicas.

De ahí se deduce que una onza de fosfato absorbe al quemarse 65,62 onzas/45 de aire puro; como se ha visto precedentemente que puede fundir 6 libras 4 onzas 48 granos de hielo; así una onza de aire puro, al ser abrobida por el fósforo, puede fundir 68,634 onzas de hielo; pero la misma cantidad de aire, transformándose en aire fijo por la combustión del carbón, puede fundir 29 onzas $\frac{1}{2}$, de donde se deduce el siguiente resultado, muy notable: « que el calor desprendido por el aire puro, cuando es absorbido por el fósforo, es aproximadamente $2\frac{1}{3}$ veces más grande que cuando se transforma en aire fijo ».

En las Memorias de la Academia, para el año 1777, pág. 597, M. Lavoisier llegó a un resultado similar por su teoría de la formación de los aires y de los vapores. Según esta teoría, el aire puro, el aire fijo, y en general todos los aires y todos los vapores, deben su estado aeriforme a la gran cantidad

de vapor que tiene combinada; el aire, sobre todo, parece contenerlo en gran abundancia; lo abandona por completo cuando pasa al estado concreto (literal, N. del Tr.) en la calcinación de los metales y en las combustiones del azufre, del fósforo, etc., pero retiene una parte considerable de dicho calor en el estado de aire fijo. La absorción del aire puro por el aire nitroso es una excepción en esta teoría general de las combinaciones del aire puro: la cantidad de calor desprendida de esta combinación particular es muy pequeña, e incomparablemente menor que la que se desarrolla en la absorción de un volumen parecido por el fósforo; es necesario suponer por lo tanto en el ácido nitroso, y por consiguiente en el nitro, una gran cantidad de calor combinado, que debe reaparecer por completo en la detonación de esta sustancia, y esto es, en efecto lo que nos indica la experiencia.

Destilado el nitro, M. Berthollet ha conseguido convertir en aire puro casi todo el ácido nitroso contenido en aquél. Este sabio químico ha observado, además, que en la detonación del nitro con el carbón, una gran parte de su ácido se transforma en aire fijo. Ahora bien, una onza de nitro encierra aproximadamente 3 gruesos $\frac{2}{3}$ de ácido nitroso; suponiendo, pues, que este ácido sea todo aire puro, y que sea completamente convertido en aire fijo, se encuentra según los resultados precedentes sobre la combustión del carbón, que una onza de nitro, detonando con el carbón, debe fundir 13 onzas $\frac{1}{2}$ de hielo; la experiencia no nos ha dado más que 12 onzas de hielo fundido; pero, si se concede atención a la incertidumbre sobre los elementos de los cuales hemos partido y a los errores inevitables en las experiencias, se verá que no es posible esperar un acuerdo más perfecto entre estos resultados. Se puede, pues, concebir el fenómeno de la detonación del nitro de la siguiente manera: el aire puro encerrado en estas sustancias se ha combinado en ellas sin un desprendimiento muy sensible de calor; debe, por consiguiente ocasionar un frío poco considerable al volver a su estado aeriforme; a medida que vuelve a dicho estado, la base del aire fijo que contiene el carbón se apodera de él y lo convierte en aire fijo; debe desarrollarse, por lo tanto, en esta circunstancia, una cantidad de calor aproximadamente igual a la

que se desprende en la combinación directa del carbón con el aire puro. El frío ocasionado por el pasaje del aire puro al estado aeriforme, en la detonación del nitro produce una pequeña diferencia entre esas cantidades de calor, y esta diferencia es igual a la cantidad de calor que desprende el aire puro al combinarse en el ácido nitroso; se la podría determinar por la experiencia precedente, si los elementos de los cuales hemos partido fueran exactos, y se encontraría que, en la combinación de una onza de aire puro para formar el ácido nitroso, la cantidad de calor que se desarrolla puede fundir 3 onzas $\frac{1}{4}$ de hielo; pero estos elementos son demasiado inciertos para poder así determinar, con precisión, esta cantidad de calor. Como quiera que sea, se puede conjeturar con verosimilitud que el nitro debe al calor que tiene combinado su propiedad de detonar, con las sustancias que pueden unirse al aire puro, propiedad que no tienen otras sustancias tales como las sales fosfóricas, que aunque encierran una gran cantidad del mismo aire no se combinan con él sino desarrollando un calor poco considerable.

Para determinar las alteraciones que la respiración de los animales ocasiona al aire puro, hemos llenado con este gas la campana *B* del aparato precedente, y hemos introducido allí diferentes cerdos de la India, aproximadamente del mismo tamaño que aquel que nos había servido en nuestra experiencia sobre el calor animal; en una de estas experiencias la campana encerraba, antes de que se pusiera el cerdo de la India, 248,01 pulgadas de aire puro; este animal quedó allí durante una hora y cuarto; para introducirlo bajo la campana, lo habíamos hecho pasar a través del mercurio; lo hemos retirado de la misma manera, y, después de haber dejado enfriar el aire interior hasta el grado de temperatura de la atmósfera, su volumen ha disminuído un poco y se ha reducido a 240,25 pulgadas; finalmente, después de haber absorbido el aire fijo con álcali cáustico, quedaron 200,56 pulgadas de aire. En esta experiencia se alteraron 46,62 pulgadas de aire puro, y 37,96 pulgadas de aire fijo se produjeron, haciendo la corrección debida a la pequeña cantidad de aire fijo, que encerraba el aire desflogisticado de la campana. Si se toma como unidad el volumen de aire puro alte-

rado, su disminución producida por la respiración será 0,814; en la combustión del carbón el volumen de aire había disminuído en la relación de 1 a 0,74828; esta diferencia puede deberse, en parte, a los errores de las medidas, pero depende también de una causa que no habíamos supuesto de antemano, y de la cual es bueno advertir a aquellos que quisieran repetir esas experiencias.

Para mantener estable la campana en la cubeta, hemos elevado un poco el mercurio interior por encima del nivel del mercurio exterior; hecho esto, introduciendo el animal y retirándolo de abajo de la campana, hemos observado que el aire exterior penetraba un poco en el interior, a lo largo del cuerpo del animal, aunque éste se encontraba sumergido parcialmente en el mercurio; este flúido no se adosa exactamente a la superficie de los pelos y de la piel para evitar toda comunicación entre el aire exterior y el aire interior de la campana; así, pues, el aire debe parecer menos disminuído por la respiración de lo que realmente es.

El peso del aire fijo producido en una experiencia anterior es de 26,527 granos; de donde se deduce que, en el intervalo de diez horas, el animal hubiera producido 212,576 granos de aire fijo.

Al comienzo de la experiencia, el animal, respirando un aire bastante más puro que el de la atmósfera, formaba, probablemente en el mismo tiempo, una mayor cantidad de aire fijo; pero, al final, respiraba con dificultad, puesto que el aire fijo, depositándose por su peso en la parte inferior de la campana donde estaba el animal, desalojaba el aire puro, que se elevaba hacia lo alto de la campana, y también probablemente porque el aire fijo es de por sí nocivo a los animales. Se puede por lo tanto suponer, sin error sensible, que la cantidad de aire fijo producido es el mismo que si el animal hubiera respirado en el aire de la atmósfera, cuya pureza es aproximadamente e intermedia entre las del aire de la parte inferior de la campana al comienzo y al final de la experiencia.

Hemos determinado en seguida directamente la cantidad de aire fijo producida por un cerdo de la India, cuando respira el aire mismo de la atmósfera; para esto lo hemos puesto bajo un bocal a través del cual hemos establecido una co-

riente de aire atmosférico; el aire, comprimido en un aparato muy cómodo para este fin, entraba bajo el bocal por un tubo de vidrio, y salía de él por un segundo tubo encorvado, cuya parte cóncava se sumergía en el mercurio, y cuya extremidad inferior desembocaba en un frasco lleno de álcali cáustico; a continuación salía de éste por un tercer tubo, que, a su vez, desembocaba en un segundo frasco lleno también de álcali cáustico, y de allí se dispersaba en la atmósfera; el aire fijo formado por el animal en el interior de la campana era retenido en gran parte por el álcali cáustico del primer frasco, y el que escapaba a esta combinación era absorbido por el álcali del segundo frasco; el aumento de peso de los frascos nos hacía conocer el peso del aire fijo que en ellos se había combinado; en el intervalo de tres horas, el peso del primer frasco ha aumentado 63 granos; el del segundo frasco, 8 granos; así el peso total de los dos frascos ha aumentado 71 granos; suponiendo que esta cantidad de aire fijo es debida únicamente a la respiración del animal, éste había formado, durante diez horas, 236,667 granos de aire fijo, lo que difiere en $1/9$, aproximadamente, del resultado de la experiencia precedente; esta diferencia puede deberse a la diferencia de tamaño y de fuerza de los dos animales, y a su estado momentáneo durante la experiencia.

Si los vapores de la respiración, arrastrados por la corriente de aire, se hubieran depositado en los frascos, el aumento de peso del álcali cáustico nos hubiera dado la cantidad de aire fijo producido por el animal; para evitar este inconveniente es que nosotros hemos empleado un tubo encorvado, cuya parte cóncava estaba sumergida en el mercurio; los vapores de la respiración se condensaron en las paredes de esta parte del tubo y se depositaban en su concavidad, de manera que a su entrada en el primer frasco el aire no estaba cargado sensiblemente de dichos vapores, por lo tanto la transparencia de la parte del tubo que descendía al frasco no ha sido alterada; se puede, pues, suponer que, si el peso de los frascos ha sido aumentado por estos vapores, este aumento ha sido compensado por la evaporación del agua del álcali que ellos contenían. Se podría objetar todavía que una parte del aire fijo que se había combinado se debiera al aire mismo

de la atmósfera; para asegurarnos de esto, hemos repetido la misma experiencia no colocando ningún animal bajo el bocal; no hubo entonces aumento en el peso de los frascos; el del segundo frasco disminuyó 4 ó 5 granos, sin duda por la evaporación del agua del álcali que contenía.

Una tercera experiencia hecha con un cerdo de la India, en aire desflogisticado, nos ha dado la cantidad de 226 granos de aire fijo producido en diez horas.

Tomando un promedio entre estas experiencias y algunas otras similares, hechas con varios cerdos de la India, tanto en aire desflogisticado como en el de la atmósfera, hemos calculado en 224 granos la cantidad de aire fijo producido en diez horas por el cerdo de la India que hemos sometido a la experiencia en una de nuestras máquinas para determinar su calor animal.

Como estas experiencias han sido hechas a la temperatura de 14 a 15 grados, es posible que la cantidad de aire fijo producida por la respiración sea un poco menor que a la temperatura de cero grado, que es la del interior de nuestras máquinas; sería necesario, pues, para mayor exactitud, determinar las producciones de aire fijo a esta última temperatura; es una precaución que nos proponemos tomar en las nuevas experiencias que haremos sobre este tema.

Las experiencias precedentes son contrarias a lo que MM. Scheele y Priestley han adelantado sobre las alteraciones del aire puro por la respiración de los animales. Ella produce, según estos dos excelentes físicos, muy poco aire fijo, y una cantidad de aire viciado, que este último ha designado con el nombre de «aire flogisticado»; pero, examinando con todo el cuidado posible, mediante un gran número de experiencias, el efecto de la respiración de los pájaros y de los cerdos de la India sobre el aire puro, nosotros hemos observado constantemente que el cambio de este gas en aire fijo es la alteración más considerable que en él produce la respiración de los animales. Haciendo respirar una gran cantidad de aire puro por cerdos de la India, y observando por medio del álcali cáustico el aire fijo producido por su respiración, haciendo respirar en seguida el residuo del aire por pájaros, y absorbiendo nuevamente por medio del álcali cáustico el nuevo aire fijo que

se había formado, hemos llegado a convertir así en aire fijo una gran parte del aire puro que habíamos empleado; lo que quedaba de aire tenía, aproximadamente, la misma pureza que debería tener en la suposición que el cambio del aire puro en aire fijo sea el solo efecto de la respiración sobre el aire. Nos parece, pues, cierto que si la respiración produce otras alteraciones en el aire puro, dichas alteraciones son poco considerables, y no dudamos que los físicos que, con grandes aparatos de mercurio, hagan las mismas experiencias, llegarán al mismo resultado.

Precedentemente se ha visto que, en la combustión del carbón, la formación de una onza de aire fijo puede fundir 26 692 onzas de hielo; partiendo de este resultado, se encuentra que la formación de 224 granos de aire fijo deben fundir 10,38 onzas de hielo. Esta cantidad representa por consiguiente el calor producido por la respiración de un cerdo de la India durante diez horas.

En la experiencia sobre el calor animal hecha con un cerdo de la India, este animal ha salido de nuestra máquina con el mismo calor con que había entrado en ella, aproximadamente; por lo tanto se sabe que el calor interior de los animales es siempre aproximadamente el mismo. sin la renovación continua de su calor, todo el que tenía al principio se habría disipado insensiblemente, y lo habríamos retirado frío del interior de la máquina como todos los cuerpos inanimados que hemos sometido a la experiencia; pero sus funciones vitales le restituyen sin cesar el calor que él comunica a todo lo que lo rodea y que en nuestra experiencia se ha transmitido al hielo interior del cual ha fundido 13 onzas en diez horas. Esta cantidad de hielo fundido representa pues, aproximadamente, el calor renovado en el mismo intervalo de tiempo por las funciones vitales del cerdo de la India; quizás sea necesario disminuir dicha cantidad en una o dos onzas, o aún más, por esta consideración: que las extremidades del cuerpo del animal se han enfriado en la máquina, aunque el interior del cuerpo haya conservado la misma temperatura, aproximadamente; por otra parte, los humores que su calor interior ha evaporado han fundido, al enfriarse, una pequeña cantidad de hielo, y se han reunido al agua que se ha escurrido de la máquina.

Disminuyendo en 2 1/2 onzas, aproximadamente, esta cantidad de hielo, se tendrá la cantidad fundida por el efecto de la respiración del animal sobre el aire; por lo tanto, si se considera los errores inevitables en estas experiencias y de los elementos de los que hemos partido para calcularlas, se verá que no es posible esperar una concordancia más perfecta entre esos resultados. Así, pues, se puede considerar el calor que se desprende en el cambio del aire puro en aire fijo por la respiración, como la causa principal de la conservación del calor animal, y, si otras causas contribuyen a mantenerla, su efecto es poco considerable.

La respiración es, por lo tanto, una combustión, en verdad muy lenta, pero perfectamente análoga a la del carbón; se realiza en el interior de los pulmones, sin desarrollar luz perceptible, puesto que la materia del fuego puesta en libertad es absorbida de inmediato por la humedad de dichos órganos; el calor desarrollado en esta combustión se comunica a la sangre que atraviesa los pulmones, y de ahí se transmite a todo el sistema animal. Así el aire que respiramos sirve para dos fines igualmente necesarios para nuestra conservación; quita de la sangre la base del aire fijo cuya superabundancia sería muy nociva; y el calor que esta combinación deposita en los pulmones repara la pérdida continua de calor que sufrimos por parte de la atmósfera y de los cuerpos adyacentes.

El calor animal es aproximadamente el mismo en las diferentes partes del cuerpo; este efecto parece depender de las tres causas siguientes: la primera es la rapidez de la circulación de la sangre, que transmite prontamente hasta las extremidades del cuerpo el calor que reciben los pulmones; la segunda causa es la evaporación que el calor produce en esos órganos, y que disminuye el grado de su temperatura; finalmente, la tercera se debe al aumento observado en el calor específico de la sangre cuando, por contacto del aire puro, se despoja de la base del aire fijo que encierra; una parte del calor específico desarrollado en la formación del aire fijo es así absorbida por la sangre, quedando siempre igual su temperatura; pero cuando, en la circulación, la sangre vuelve a tomar la base del aire fijo, su calor específico disminuye, y desarrolla calor; y como esta combinación se hace en todas

las partes del cuerpo, el calor que produce contribuye a mantener la temperatura de las partes alejadas de los pulmones, al mismo grado que la de dichos órganos, aproximadamente. Finalmente, cualquiera sea la manera en que se repone el calor animal, aquel que desarrolla la formación del aire fijo es la causa primera; así podemos establecer la siguiente proposición: « cuando un animal está en un estado permanente y tranquilo; cuando puede vivir un tiempo considerable, sin sufrir, en el medio que lo rodea; en general, cuando las circunstancias en las cuales se encuentra no alteran sensiblemente su sangre y sus humores, de manera que después de varias horas el sistema animal no sufre variación sensible; la conservación del calor animal es debida, por lo menos en gran parte, al calor que produce la combinación del aire puro respirado por los animales, con la base del aire fijo que la sangre le proporciona ».

El método que acaba de conducirnos a este resultado es independiente de toda hipótesis, y ésta es su principal ventaja; sea que el calor viene del aire puro, sea que viene de los cuerpos que se combinan con él, no se puede dudar que, en la combinación del aire puro con la base del aire fijo, se desarrolla una cantidad considerable de calor; esta combinación presenta, en lo que se refiere al calor, fenómenos enteramente análogos a los que nos ofrecen muchas otras combinaciones químicas, y en particular la del agua con la cal viva; y lo que hace la identidad más perfecta es que, en esta última combinación, hay desarrollo de luz. Comparando el calor desprendido por la combustión del carbón con la cantidad de aire fijo que se forma en esta combustión, se tiene que el calor desarrollado en la formación de una cantidad dada de aire fijo; si se determina seguidamente la cantidad de aire fijo que un animal produce en un tiempo dado, se tendrá el calor que resulta, como efecto de su respiración sobre el aire; no se tratará más que de comparar este calor con el que mantiene su calor animal, y que mide la cantidad de hielo que funde en el interior de nuestras máquinas; y si, como lo hemos encontrado en las experiencias precedentes, esas dos cantidades de calor son aproximadamente las mismas, se puede deducir directamente y sin hipótesis que es el cambio del

aire puro en aire fijo, por la respiración, a que se debe, por lo menos en gran parte, la conservación del calor animal. Nos proponemos repetir y variar estas experiencias, determinando las cantidades de calor renovadas por diversas especies de animales y examinando si toda esta cantidad de calor es constantemente proporcional a las cantidades de aire fijo producidas por la respiración; los pájaros parecen preferibles a los cuadrúpedos para este género de experiencias, debido a que forman en el mismo tiempo, y a igualdad de volumen, una mayor cantidad de aire fijo; así, por ejemplo, hemos observado que dos gorriones consumen aproximadamente tanto aire puro como un cerdo de la India.

Para completar esta teoría del calor animal, faltaría explicar por qué los animales, aunque colocados en medios de temperatura y de densidades muy diferentes, conservan siempre el mismo calor aproximadamente, sin convertir en aire fijo, sin embargo, cantidades de aire puro proporcionales a dichas diferencias; pero la explicación de esos fenómenos se debe a la evaporación más o menos grande de los humores, a su alteración y a las leyes según las cuales el calor se comunica de los pulmones a las extremidades del cuerpo; así que esperamos, para ocuparnos de este tema, que el análisis, aclarado por un gran número de experiencias, nos haya hecho conocer las leyes del movimiento del calor en los cuerpos homogéneos, y en sus pasajes de un cuerpo a otro de naturaleza diferente.

MEMORIA CONTENIENDO LAS EXPERIENCIAS HECHAS SOBRE EL CALOR DURANTE EL INVIERNO DE 1783 A 1784

Continuando, durante el invierno de 1783 a 1784, las experiencias que habíamos comenzado el año precedente sobre el calor, nos hemos dedicado principalmente a determinar, con una gran precisión, las cantidades de hielo que se funden en las diferentes clases de combustiones, especialmente en la del gas hidrógeno; a verificar cuidadosamente los resultados que habíamos sostenido el año anterior; y a determinar el calor específico de un mayor número de sustancias, principalmente de los metales y de sus óxidos. Hemos terminado los trabajos de este mismo invierno con experiencias sobre el calor específico del aire vital y del aire atmosférico.

Después, nuevas ocupaciones nos pusieron en la imposibilidad de emprender la continuación de esas experiencias, y, de año en año, nos hemos visto obligados a postergarlos hasta este momento.

Nos hemos encontrado indecisos al comenzar esta memoria sobre si, al escribir hoy, en 1793, es decir al cabo de diez años, deberíamos adoptar los cambios sobrevenidos en la nomenclatura de la química; nos encontrábamos entre dos dificultades; puesto que, por un lado, adoptando la nueva nomenclatura las diferentes partes de nuestros trabajos ya no serían coherentes entre sí; por otra parte, al no adoptarla, nos exponíamos a utilizar un lenguaje anticuado, y a no ser entendidos

⁽¹⁾ Traducida de las «Oeuvres de Lavoisier», Tomo II (París) 1864, por Roberto L. Huste y revisada por el Dr. H. Damianovich.

por aquellos que no estudian esta materia más que desde hace pocos años. Sin embargo hemos optado por esta última alternativa, con algunas ligeras modificaciones, y nos hemos remontado más bien a la época en la cual fueron realizadas las experiencias que a aquella en que fueron publicadas.

Estando el termómetro a un grado por sobre cero, en el lugar donde estaba el calorímetro, hemos quemado en la capacidad interior 7 gruesos 24 granos de carbón de « bourdaine » ⁽¹⁾ muy puro, y que había sido bien calcinado; la combustión ha durado dos horas y la cantidad de hielo fundido ha sido de 5 libras 8 onzas 5 gruesos, lo que corresponde a 96 libras 7 onzas 2 gruesos de hielo fundido por cada libra de carbón.

En las experiencias hechas durante el invierno de 1782 a 1783, habíamos encontrado, por un promedio entre varias experiencias, la cantidad de 96 libras 4 gruesos.

La diferencia es, como se ve, poco considerable, y creemos poder fijar definitivamente en 96 libras 8 onzas la cantidad de hielo que funde 1 libra de carbón al quemarse.

Estando el termómetro exterior a un grado y medio sobre cero, hemos quemado en la capacidad interior del calorímetro un grueso 15,9 granos de cera blanqueada o de bujía; la cantidad de hielo fundido ha sido de 1 libra 6 onzas, lo que corresponde a 143 libras 13 onzas 4 gruesos por libra de bujía.

En una segunda experiencia, estando el termómetro a un grado sobre cero, hemos conseguido, mediante tres bujías encerradas en el calorímetro, quemar 5 gruesos 56 granos $\frac{1}{2}$ de cera; la cantidad de hielo fundido ha sido de 3 libras 15 onzas; lo que corresponde a 133 libras 2 onzas 5 gruesos $\frac{1}{3}$ por libra de cera.

Es bastante difícil elegir entre estos dos resultados, que difieren en un 14 avo; la segunda experiencia tiene la ventaja de haber sido hecha con una cantidad triple de cera, y, desde este punto de vista, parecería merecer la preferencia; pero, por otra parte, en una combustión más rápida, es posible que una porción del aire que circula en la capacidad interior del calorímetro salga sin ser despojada enteramente de su

(1) Arbusto cuya madera carbonizada sirve para la fabricación de la pólvora.

calórico, y de lo cual resulte un déficit en la cantidad de hielo fundido. Teniendo en cuenta estas diferentes consideraciones, creemos poder fijar en 140 libras la cantidad de hielo que puede fundir una libra de cera quemando apaciblemente.

Estando el termómetro exterior a 1 grado sobre cero, hemos mantenido, durante varias horas, en la capacidad interior del calorímetro, una lámpara que ha consumido 1 grueso 18 granos de aceite; la cantidad de hielo fundido ha sido de una libra 8 onzas 1 grueso; lo que corresponde, por libra de aceite, a 148 libras 14 onzas 1 grueso.

Estando el termómetro exterior a 1 grado sobre la congelación, hemos mantenido, en la capacidad interior del calorímetro, un pequeño candil de sebo de carnero, que ha consumido 6 gruesos 52 granos. La cantidad de hielo fundido ha sido de 5 libras 4 gruesos, lo que corresponde, por cada libra de sebo, a 95 libras 13 onzas de hielo fundido.

Tenemos motivo para creer que esta cantidad es demasiado reducida; en efecto, es difícil evitar que un candil de sebo no humee al quemar, es decir que una porción del carbón que contiene esta sustancia se escape sin quemar; hay entonces necesariamente menos aire vital descompuesto, menos calórico desprendido, y la experiencia es incompleta; pero éste es un inconveniente inherente al sebo, el cual nos ha parecido difícil de remediar.

Hemos también tentado de llevar a cabo, en el calorímetro, la combustión lenta del gas hidrógeno, y la recomposición del agua. Para efectuar esto, hemos empleado los gasómetros descritos en las Memorias de la Academia de Ciencias, año 1782, pág. 466; uno proporciona gas hidrógeno, el otro aire vital.

Estos flúidos eran conducidos cada uno por un tubo individual, a un balón colocado en la capacidad del calorímetro; el tubo que conducía el aire vital terminaba en una abertura de varias líneas de diámetro; por el contrario el que conducía el gas hidrógeno terminaba por un orificio muy estrecho.

Cuando todo el aparato estuvo preparado, hemos comenzado por hacer el vacío en el balón mediante la máquina neumática y un tubo y un robinete dispuesto con tal fin; luego hemos llenado ese mismo balón de aire vital, abriendo aquel

de los dos robinetes que comunicaba con el gasómetro que lo contenía; finalmente, en el momento en que debía comenzar la experiencia, hemos dado una ligera presión al gasómetro que contenía el gas hidrógeno; hemos determinado así el escape de este gas por el orificio y lo hemos encendido por medio de una chispa eléctrica. La combustión duró once horas y media; la cantidad de agua formada fué de 4 gruesos 2 granos, y la de hielo fundido, 6 libras 1 onza 2 gruesos 18 granos, lo que corresponde a 295 libras 2 onzas 3 gruesos por libra de gas hidrógeno.

El tubo que estaba destinado a transmitir la electricidad para encender el gas hidrógeno al comienzo de la experiencia, no estaba enteramente rodeado de vidrio; salía fuera del aparato, y nos hemos apercibido que se calentaba en el transcurso de la operación; por lo tanto, por ese tubo se ha perdido una pequeña porción de calórico que no ha sido empleado en fundir el hielo, de lo que resulta que la cantidad anteriormente determinada debe ser un poco inferior a la real. Habíamos tenido siempre el propósito de repetir esta experiencia, corrigiendo esta causa de error; el aparato está aún dispuesto; pero el tiempo nos ha faltado. Es increíble cuán largos y penosos son los preparativos de esta clase de experiencias; es necesario, en primer lugar, procurarse recipientes cerrados que contengan sin pérdidas de flúidos aeriformes, y que puedan asimismo soportar el vacío sin entrada de aire. Seguidamente, es necesario obturar todos los orificios, las junturas de los tubos, de manera que no se pierda nada; asegurarse que no hay pérdida de aire por ninguna de las obturaciones; finalmente, es necesario preparar los gases, pesarlos, etc. Quince días o tres semanas son apenas suficientes para todos estos preparativos, aun ocupándose de ellos casi continuamente. No es sino cuando ellos están completamente terminados que se puede comenzar la combustión; la combustión misma exige dos o tres días de trabajo muy activo, sin hablar de todas las pesadas, de todas las reducciones y de todos los cálculos; se sabe que las circunstancias no han sido favorables para emprender trabajos de tan gran envergadura. Como quiera que sea, no pensamos que la incertidumbre de los resultados definitivos que hemos obtenido en 1784 sea mayor

de treinta o treinta y cinco libras de hielo fundido, de manera que el límite de incertidumbre nos parece que debe ser fijado entre 295 y 330 libras.

En general, el calor en esta combustión no ha sido tan considerable como lo habíamos esperado, de manera que es probable que el gas hidrógeno no contenga tanta caloría como se había creído hasta el presente.

Aun cuando sea imperfecto el método que ha empleado el Dr. Crawford para apreciar la cantidad de calor que se desprende en la detonación de una mezcla de gas hidrógeno y de aire vital, es bastante notable que su resultado no se aleja muy considerablemente del que nosotros hemos obtenido; él ha operado con 11,492 pulgadas de gas hidrógeno, que pesaban 0,4067 granos, y con 5,746 pulgadas de gas oxígeno, que pesaban 2,912 granos, que ha mezclado y hecho detonar en un aparato que contenía 20,238 onzas de agua. El calor de la detonación ha elevado esta cantidad de agua en 1,0667 grados; de donde puede deducirse que 1 libra de gas hidrógeno habría elevado la temperatura de la libra de agua en 31,480 grados, número que, dividido por 60, da $524 \frac{2}{3}$ libras de hielo que puede fundir una libra de gas hidrógeno al quemarse; es asombroso que operando sobre tan pequeñas cantidades, y por un método tan susceptible de error, el Dr. Crawford no se haya alejado tanto de los resultados que nosotros hemos obtenido.

Hemos aprovechado igualmente el invierno de 1783 a 1784 para hacer algunas nuevas experiencias sobre el calor específico de los metales y de sus óxidos; registraremos aquí los resultados deduciéndolos de los que hemos obtenido el invierno de 1782-1783. Casi todos han sido hechos con 10 ó 12 libras de materias; hemos hecho muchos otros que no creemos deber consignarlos, sea porque no han sido hechos más que una vez, sea porque nos dejan todavía dudas que nos proponemos eliminar en la continuación de nuestro trabajo.

RESUMEN DE LAS EXPERIENCIAS

Hechas durante los inviernos de 1782 a 1784, sobre las cantidades de hielo fundidas por una libra de las diferentes sustancias aquí indicadas, al enfriarse desde 60 grados el ter-

mómetro de mercurio, dividido en 80 partes, hasta el término de la congelación.

Agua común	1,000.000
Fundición o hierro batido	0,109.985
Vidrio sin plomo	0,192.900
Mercurio	0,029.000
Oxido rojo de mercurio	0,050.112
Plomo	0,028.189
Oxido rojo de plomo	0,062.270
Estaño	0,047.535
Sulfuro de antimonio	0,053.180
Oxido blanco de antimonio (antimonio diaforético)	0,147.090
Azufre	0,208.500
Aceite de oliva	0,309.607
Alcohol rectificado	0,678.786
Cal viva	0,216.890
Mezcla de agua y cal viva, en la proporción de 9 a 16	0,439.116
Acido sulfúrico de peso específico 1,87058	0,334.597
Mezcla de este mismo ácido con agua, en la proporción de 4 a 5	0,603.162
Acido nítrico no fumante, de peso específico 1,29895	0,661.391
Combinación de este ácido con la cal viva, en la proporción de 9 1/2 a 1	0,618.950
Disolución de una parte de salitre en 8 partes de agua	0,818.700

CANTIDAD DE HIELO FUNDIDO POR EL CALOR PRODUCIDO POR UNA LIBRA
DE LAS MEZCLAS AQUI INDICADAS

	Libras	Onzas	Gruesos	Granos
Acido sulfúrico de peso específico 1,85068, mezclado con agua en la proporción de 4 a 3	0	14	2	62
El mismo ácido mezclado con agua en la proporción de 4 a 5	0	12	6	48
Agua con cal viva del comercio, en la proporción de 9 a 16	1	8	3	60
Acido nítrico no fumante de peso específico 1,29895 mezclado con agua, en la proporción de 9 1/2 a 15	1	0	2	0

Las cantidades de hielo fundido indicadas en esta segunda tabla son el producto de la sola combinación de las substan-

cias; han sido mezcladas cada una a la temperatura de cero grado, muy exactamente; los vasos donde se hacía la combinación estaban igualmente a cero grado. Las cantidades de hielo fundido son el producto del calor que ha tenido lugar por efecto de la combinación, y hasta que la temperatura hubo bajado a cero del termómetro. Es necesario distinguir bien los resultados de esta segunda tabla de los de la primera, que son el producto del enfriamiento de los cuerpos calentados artificialmente a 60 grados, y enfriados seguidamente hasta cero en el calorímetro.

CANTIDAD DE HIELO FUNDIDO POR LA COMBUSTIÓN DE UNA LIBRA DE LAS
SUBSTANCIAS AQUI INDICADAS

	Libras	Onzas	Gruesos
Combustión de una libra de fósforo	100	0	0
Combustión de una libra de carbón de madera ordinaria, según las experiencias hechas en 1783	96	4	0
Combustión de una libra de carbón de « bourdaine » según las experiencias hechas en 1784	96	7	2
Combustión de una libra de aceite de oliva ...	148	14	1
Combustión de una libra de cera blanqueada al aire, o bujía	140	0	0
Combustión de una libra de sebo	95	13	0
Combustión de una libra de éter sulfúrico	74	5	0
Detonación de una libra de salitre con 5 onzas de carbón	12	0	0
Detonación de una libra de salitre con una libra de azufre	32	0	0

CANTIDAD DE HIELO FUNDIDO POR LA RESPIRACIÓN DE DOS CERDOS DE LA
INDIA EN 24 HORAS

	Libras	Onzas	Gruesos	Granos
En una primera experiencia	1	15	4	32
En una segunda experiencia	2	13	0	0

Se concibe que el resultado de las experiencias sobre los animales debe variar según su fuerza, su tamaño, y según el estado de su salud; se puede ver, además, la aplicación que hemos hecho de este tipo de experiencia, (Obras de Lavoisier, T. II, 1862) pág. 326 y siguientes.

CANTIDAD DE HIELO QUE FUNDE UNA LIBRA DE AIRE VITAL
Y UNA LIBRA DE AIRE DE LA ATMÓSFERA, AL ENFRIARSE DESDE
60 GRADOS DEL TERMÓMETRO HASTA EL TÉRMINO DE LA
CONGELACIÓN

Las experiencias que vamos a consignar han sido hechas con 16,8257 pies cúbicos de aire vital, cuyo peso, a 5 grados del termómetro, era de 1,63583 libras, y con 37,6838 pies cúbicos de aire atmosférico cuyo peso era, a un grado y medio, 3,39802 libras. Este tipo de experiencia no es extremadamente difícil cuando se está provisto de instrumentos cómodos; vamos a ensayar de dar una idea de los que hemos empleado, tanto como podemos hacerlo sin la ayuda de las figuras.

Nuestro aparato consistía, primeramente, en un tubo de cobre que se introducía en el calorímetro, dentro del cual describía varias circunvoluciones, de manera análoga a un serpentín, que salía por el extremo opuesto; dos termómetros estaban adaptados a este tubo, uno a cada una de sus extremidades, con el fin de que se pudiera conocer el grado que tenía el aire al entrar y al salir del calorímetro; en segundo lugar, constaba el aparato de otros dos serpentines sumergidos en vasos llenos de agua que se podía calentar a voluntad; el tubo de cada uno de estos serpentines ajustaba por una de sus extremidades con el colocado en el calorímetro, y comunicaba por la otra con un gasómetro; finalmente había dos gasómetros, de los cuales uno estaba lleno con el aire cuyo calor específico queríamos conocer.

Todas las aberturas estaban cerradas por medio de contactos de cobre, guarnecidos de cuero engrasado, y ajustados por tornillos.

Cuando queríamos operar, calentábamos el agua en la cual estaban sumergidos los dos serpentines; provocábamos una ligera presión en el gasómetro que contenía el aire o el gas, y lo forzábamos así a pasar, primero por el serpentín sumergido en el agua caliente, y seguidamente por el tubo encorvado encerrado en el calorímetro, donde depositaba todo el calor que había adquirido; este aire salía de ahí generalmente a cero, y pasaba seguidamente al segundo gasómetro, que se llenaba poco a poco.

Cuando el primer gasómetro estaba vacío, se suprimía la presión que había obligado al aire a pasar, y se aplicaba otra presión al segundo gasómetro; así se hacía pasar el mismo aire una segunda vez por el serpentín sumergido en agua caliente y a través del calorímetro, donde depositaba de nuevo el calor que había adquirido, y así sucesivamente un gran número de veces.

Dos personas observaban, de minuto en minuto, el grado del termómetro, a saber: una el termómetro de entrada; otra el de salida. Se llegaba así a conocer las cantidades de aire que habían atravesado el calorímetro, y la cantidad de grados del termómetro que en él habían perdido.

Hemos hecho pasar así 16,8257 pies cúbicos de aire vital, que han perdido en el calorímetro 35 grados, y que han fundido 10 onzas de hielo; de donde hemos deducido que el calor específico del aire vital no era más que de 0,65.

De la misma manera hemos hecho pasar por el tubo colocado en el calorímetro, 37,6835 pies cúbicos de aire atmosférico, que han depositado 57 grados de calor; la cantidad de hielo fundido ha sido de 1,0625 libras, de donde hemos deducido, para el calor específico del aire atmosférico, la cifra de 0,33031.

Así, una libra de aire vital, enfriándose desde 60 grados hasta el término de la congelación, no pierde más que los dos tercios del calor que sería necesario para elevar el agua en un mismo número de grados; el aire atmosférico no pierde más que un tercio, lo que se aparta infinitamente de los resultados obtenidos por el Dr. Crawford. Según parece, puede deducirse de esta experiencia que, independientemente del calórico interpuesto entre las moléculas de los cuerpos, y que se puede expresar, si se nos permite la frase, sea por el enfriamiento, sea por otra fuerza que aproxima las partes, existe calórico combinado, que forma una de las partes constituyentes de las moléculas de los cuerpos, que no pueden ser separados de ella más que mediante la afinidad y la descomposición, y que no contribuye en nada a los fenómenos que acompañan al calentamiento y al enfriamiento de los cuerpos.

Nosotros aguardaremos, para discutir estas consecuencias, y muchas otras a las cuales estos resultados parecen condu-

ciños, a que hayamos repetido estas mismas experiencias con nuevas precauciones; sin garantizar su exactitud rigurosa podemos, sin embargo, asegurar desde ya que no se apartan mucho de la realidad.

Terminaremos estas memorias con algunas reflexiones, no sobre la teoría del calor sino sobre las consecuencias que nos parecen derivar inmediatamente de las experiencias que acabamos de exponer, y sobre todo en lo que se refiere a aquellas con respecto a las cuales no parece quedar duda alguna.

La sustancia que se forma como resultado de la combustión del fósforo siendo, como es, un ácido concreto (sólido N. del Tr.), es probable que quede poco calórico en este ácido, y que por consiguiente la combustión del fósforo nos proporcione un medio de conocer aproximadamente la cantidad de calórico en el aire vital. Pero, aun cuando se quisiera suponer que el aire vital, al combinarse con el fósforo para constituir el ácido fosfórico, retiene todavía mucho calor, resultaría por lo menos que el ácido fosfórico es una de las sustancias que madas que lo contiene en menor cantidad; se podría, por lo tanto, comparar con él todas las otras, y fijar así límites que nuevas experiencias vendrían en seguida a estrechar más y más.

Se sabe que una libra de fósforo absorbe, al quemarse, una libra ocho onzas de aire vital aproximadamente; ahora bien, puesto que esta combustión de una libra de fósforo funde cien libras de hielo, resulta de ello que la cantidad de calórico que abandona una libra de aire vital, durante la combustión, es suficiente para fundir 66 libras 11 onzas 5 gruesos 24 granos de hielo; el aire vital, como yo acabo de observarlo, no abandona seguramente, en esta combustión, todo el calórico que contenía; queda constancia, pues, de que contiene más calor y no puede contener menos.

Pero una libra de aire vital, al enfriarse, no pierde más que los dos tercios del calórico que pierde el agua al enfriarse el mismo número de grados. Así, siendo la expresión el calor que pierde el agua por un grado igual a $\frac{1}{60}$, la expresión de que pierde el aire vital será $\frac{2}{3 \times 60}$, de donde se deduce que, si las cantidades de calor abandonadas por el aire vital

al enfriarse fueran siempre iguales y proporcionales a los grados del termómetro, no podría ser privado de todo su calórico más que por un enfriamiento de 6030 grados del termómetro de Réaumur, por debajo de cero. Ahora bien, como es probable, según un gran número de experiencias, que el cero absoluto del termómetro sea mucho menos bajo, es necesario deducir, así como yo lo he expuesto más arriba, que el calórico que contiene el aire vital no es susceptible de ser separado de él por enfriamiento; que una parte está aún en un estado de combinación y que no puede reaparecer hasta tanto no haya sido puesto en libertad por una afinidad más fuerte ejercida sobre el oxígeno, como sucede en la combustión y en las operaciones análogas.

Otra consecuencia que deriva de las experiencias de este tipo es que el aire vital, fijándose en los cuerpos, y pasando del estado aeriforme al estado líquido o concreto (sólido, N. del Tr.), retiene más o menos calórico según la naturaleza de las substancias con las cuales se combina. La combustión del carbón proporciona un ejemplo de esto: una libra de carbón, al quemarse, no hace fundir más que 96 libras 8 onzas de hielo; sin embargo absorbe, durante esta combustión, 2 libras 9 onzas 1 grueso 10 gramos de aire vital; ahora bien, partiendo de los resultados obtenidos para la combustión del fósforo, 2 libras 9 onzas 1 grueso 10 granos de aire vital deberían abandonar tanto calórico como el necesario para hacer fundir por lo menos 171 libras 6 onzas 5 gruesos de hielo. Desaparece, pues, en esta experiencia, una cantidad de calórico que hubiera sido suficiente para fundir 74 libras 15 onzas 5 gruesos de hielo; esta cantidad de calórico queda, sin duda, retenida en el ácido carbónico, y es dicho calórico que lo constituye en estado de gas, a diferencia del ácido fosfórico, que está en el estado concreto después de la combustión. Dividiendo esta cantidad de calórico, que falta, por el número de libras de ácido carbónico que se forma por la combustión de una libra de carbón, se encuentra que la cantidad de calórico necesaria para llevar una libra de ácido carbónico al del estado concreto al estado gaseoso habría fundir 20 libras 15 onzas 5 gruesos de hielo. Este resultado no debe ser considerado más que como una aproximación; para llegar a

cualquier cosa pasablemente exacta, sería necesario conocer la cantidad de calórico contenido en el carbón antes de su combustión, así como aquella que retiene el oxígeno en su combinación con el fósforo, datos que nos son todavía desconocidos.

Hay tipos de combinaciones en las cuales el oxígeno parece retener una mayor cantidad de calor: tal es la del hidrógeno y del oxígeno cuando se reúnen para formar el agua. Una libra de hidrógeno absorbe, en esta combustión, 5 libras 10 onzas 5 gruesos 24 granos de oxígeno, y hace fundir 295 libras 9 onzas 3 gruesos y medio de hielo; ahora, partiendo siempre de lo que sucede en la combustión del fósforo:

	Libras	Onzas	Gruesos
5 libras, 10 onzas, 5 gruesos, 24 granos de aire vital, al pasar del estado aeriforme al estado sólido, debería perder tanto calórico como para hacer fundir una cantidad igual a ..	377	12	3
No abandonan, en la combustión de hidrógeno, más que	295	9	3
Resta, por lo tanto, en el agua que se forma, suponiéndola aún a cero del termómetro „por lo menos	82	3	0

sin contar todo el calórico que estaba contenido en el gas hidrógeno, que es necesario añadir todavía a esta cantidad.

Dividiendo este número de 82 libras 3 onzas por el de las libras de agua que se forma por la combustión de una libra de hidrógeno, es decir por 6 libras 10 onzas 5 gruesos 24 granos, se encontrará que sin contar el calórico que existía en el gas hidrógeno, y que todavía no tenemos ningún medio para calcular exactamente, queda en cada libra de agua a cero una cantidad de calórico por lo menos igual a la que sería necesaria para fundir 12 libras 5 onzas 2 gruesos 48 granos de hielo, lo que llevaría 740 grados por debajo del termómetro el término al cual el agua estaría enteramente privada del calor.

La formación del ácido nítrico proporciona otro ejemplo más notable de esta fijación del calórico en los cuerpos. Volvemos a encontrar todavía, en las mediciones que segui-

rán, las mismas causas de incertidumbre que hicimos notar hace algunos instantes, puesto que no conocemos ni la cantidad de calórico que existe en el gas nitroso, ni la que existe en el ácido nítrico, ni en el carbón. Estas aproximaciones sin embargo, por inciertas que se las suponga, no son inútiles; dan los límites que fijan las ideas, hasta el momento en que experiencias más precisas permitirán pretender cálculos rigurosos.

Se sabe que, cuando se combinan gas nitroso y aire vital, en proporciones convenientes, estos dos flúidos se penetran, pierden su estado aeriforme y se convierten en un líquido que es el ácido nítrico. No hay combustión propiamente dicha en esta combinación, es decir inflamación o desprendimiento de luz; el mismo calor que se desarrolla es bastante mediocre. De esto resulta evidentemente que el aire vital, al fijarse en esta combinación, retiene la mayor parte del calórico que contenía en el estado aeriforme.

Sería interesante conocer, sin duda, el calor que pierde el aire vital al combinarse así con el gas nitroso. En consecuencia, habíamos tentado, P. S. Laplace y yo, de formar ácido nítrico en un balón encerrado en un calorímetro; pero la cantidad de calórico que se desprende durante la combinación del gas nitroso y del aire vital es tan pequeña, hace fundir tan poco hielo, que escurren apenas algunas gotas de agua del aparato; ensayaremos retomar este tema con nuevos medios y operando sobre muy grandes cantidades.

Mientras tanto, puede ya formarse, según las experiencias siguientes, una idea bastante precisa de la cantidad de calórico contenida y encerrada en el ácido nítrico.

P. S. Laplace y yo hemos hecho detonar, en el interior del calorímetro, una proporción conveniente de salitre y de carbón y hemos reconocido que una libra de salitre, así descompuesta por el carbón, podía hacer fundir 12 libras de hielo.

Pero una libra de salitre contiene:

	Onzas	Gruesos	Granos	Granos
Potasa	7	6	51,84 =	4515,85
Acido seco	8	1	20,16 =	4700,16

Las 8 onzas 1 grueso 10,16 granos de ácido están compuestas, por su parte, de:

	Onzas	Gruesos	Granos	Granos
Oxígeno	7	3	66,34 =	3738,34
Nitrógeno	1	5	25,82 =	961,82
Así, haciendo detonar una libra de salitre con carbón, se que man realmente 145 granos $\frac{2}{3}$ de carbón puro, con la ayuda de 3738,34 granos de oxígeno; ahora bien, puesto que la cantidad de hielo fundido en esta combustión es de 12 libras, resulta de esto que una libra de aire vital fundiría durante esta combinación				29,5832 lb
A lo cual debe añadirse la cantidad de calórico que conserva una libra de oxígeno en su combinación con el carbón, para constituir el ácido carbónico al estado de gas, y que es, según las experiencias indicadas arriba, igual a				29,13844 >
lo que nos da, para la cantidad de hielo que podría hacer fundir el calórico retenido por una libra de oxígeno encerrado en el ácido nítrico, un valor igual a				58,72164 >
Se ha visto, por el resultado de la combustión del fósforo, que, en el estado de aire vital, lo contenía por lo menos en cantidad igual a				66,66667 >
La diferencia no es más que de				7,94503 >

Se ve, pues, que el ácido nítrico contiene más de los siete octavos del calórico que existía en el aire vital que sirvió para formarlo, y que apenas un octavo, y probablemente mucho menos, debe desprenderse en la combinación del aire vital con el gas nitroso.

Habíamos ensayado realizar cálculos similares para la combustión del aceite, de la bujía, del alcohol, del éter, etc. Se sabe que estas sustancias están compuestas principalmente de carbono y de hidrógeno; que forman al quemarse ácido carbónico y agua; sería interesante determinar si la cantidad de hielo fundido en estas combustiones corresponde aproximadamente a la proporción de carbono y de hidrógeno que contienen las sustancias quemadas; pero nos hemos apercibido que estos cálculos no tenían todavía bases suficientemente ciertas, puesto que, en primer lugar, no se conoce con gran precisión la proporción de carbono y de hidrógeno que contienen los aceites, el alcohol y el éter; en segundo lugar, se ignora

por completo las cantidades de caloría que retiene el hidrógeno en las diferentes combinaciones donde se encuentra encerrado; finalmente, no se sabe mejor la cantidad de calórico que el carbón contiene antes y después de la combinación. Es preferible, por lo tanto, esperar que nuevas experiencias nos iluminen al respecto, antes de correr el riesgo de inducir en error a los físicos con deducciones demasiado precipitadas.

Razones especiales han impedido al Dr. ALFREDO SORDELLI, entregar a tiempo, el comentario de esta memoria, que será publicado en un próximo número.

CONSTRUCCION DE UN SENCILLO PUENTE SALINO DE VIDRIO POROSO

H. A. LAITINEN, University of Illinois, Urbana,
III. (De *Industrial and Engineering Chemistry*,
Anal. Ed., **13**, 393 (1941)).

En ciertos tipos de determinaciones potenciométricas es preferible el uso de un puente salino de pequeña sección transversal y de baja resistencia eléctrica sin usar geles de agar.

El puente de Irving y Smith

(³) es ventajoso por constituir una unión líquida directa, pero tiene una resistencia eléctrica elevada debido al tipo de juntas de vidrio de un diámetro relativamente grande. Otros tipos de puentes salinos, de contacto directo de líquidos, tales como el de Bright y Miller (¹) a menudo tienen la desventaja de la complejidad de su construcción

y que tienden a una resistencia eléctrica elevada.

El puente salino aquí descrito puede ser hecho con un tubo de 3 mm de diámetro si se desea, tiene una resistencia eléctrica baja y elimina con toda eficiencia la acción de sifón. De tal manera es innecesario tener que mantener un nivel constante de solución a través del sistema.

Método de construcción.—Se pulveriza en un mortero de porcelana trozos de vidrio Pyrex hasta reducirlo a un fino polvo. El tubo de Pyrex que se va a usar se tapa en un ex-

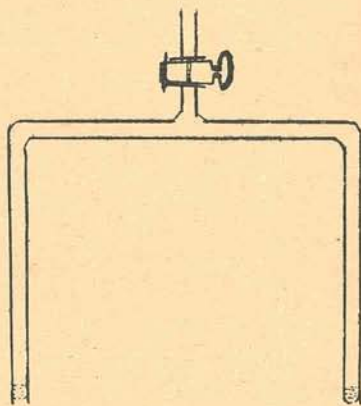


FIG. 1.

tremo y se llena con el vidrio pulverizado en una longitud de unos pocos centímetros. Se calienta el polvo de vidrio suavemente para permitir la expansión de los gases en él contenidos y mediante unos golpecitos se acumula el polvo en el extremo del tubo. Ahora se calienta el tubo a una cierta distancia del extremo, con rotación, en una pequeñísima llama de oxígeno. Tan pronto como el vidrio comienza a ablandarse, se saca rápidamente de la llama y se aplica mediante la boca una succión hasta cerrar parcialmente el tubo. Se corta el extremo del tubo y se elimina el exceso de polvo de vidrio. La membrana porosa de vidrio puede ser probada por succión; ella debe ser compacta de tal modo que el agua pase con cierta dificultad al succionar con la boca. Con alguna práctica estas membranas pueden ser construídas fácilmente. La única dificultad es la de evitar la completa fusión del vidrio pulverizado. El puente completo se muestra en la figura 1. En cada uno de los extremos se puede fabricar la membrana porosa de vidrio, pudiendo suprimirse el robinete.

El puente se limpia y llena aplicando un aspirador o bomba de succión al brazo vertical.

BIBLIOGRAFIA

- (¹) BRIGHT W. M. y MILLER E. L., *Industrial and Engineering Chemistry Anal. Ed.*, 9, 346 (1937).
- (²) IRVING G. W. y SMITH N. R., *idem*, 6, 480 (1934).
Ed. 9, 346 (1937).

J. F. S.

INDICE DEL TOMO XII

CANNIZZARO, STANISLAO. — Síntesis de un curso de filosofía química	XII, 71
Congreso de Químicos de Karlsruhe (1860)	XII, 64
DEULOFEU, V. — Enseñanza de las ciencias en EE. UU.	XII, 295
HELMHOLTZ, HERMANN L. VON. — Sobre el desarrollo moderno de la concepción de Faraday de la electricidad (Trad.)	XII, 148
ISNARDI, TEÓFILO. — Sobre la orientación y posibilidades de la investigación científica en nuestro país (Conf.)	XII, 127
Walther Nernst	XII, 189
Teoría y ensayo de la balanza	XII, 323
LAJMANOVICH-BÜHLER. — El atomismo de Berzelius	XII, 55
OROZCO DIAZ. — La estructura electrónica de los átomos.	XII, 13
SIDGWICK, N. V. — Uniones atómicas	XII, 35
VANOSI, REINALDO. — La determinación de pH mediante el electrodo de vidrio	XII, 197

I - *El electrodo de vidrio*

Introducción	XII, 199
La composición de vidrio y su influencia en el comportamiento como electrodo	XII, 202
Características del electrodo de vidrio	XII, 205
Teoría del electrodo de vidrio	XII, 208
Origen de los potenciales de una pila con electrodo de vidrio	XII, 210
Deducción de la f. e. m.	XII, 213
Estudio experimental del funcionamiento del electrodo de vidrio	XII, 216
Preparación y tipos de electrodos de vidrio	XII, 219
Tratamiento de electrodo de vidrio	XII, 228

II - *La pila en su aspecto experimental*

Electrodos de referencia	XII, 232
Formación de la pila y detalles para la medición de f. e. m.	XII, 241
Causas de error	XII, 243
Otros modos de formación de la pila	XII, 245
Potencial de asimetría	XII, 248
Aislación entre los polos de la pila	XII, 250

Resistencia del electrodo de vidrio	XII, 253
Potenciales de difusión o de contactos líquidos	XII, 255
III - <i>Aparatos para la medición de la f. e. m.</i>	
Método potenciométrico	XII, 259
Electrómetros	XII, 260
Válvulas electrónicas	XII, 261
Triodos electrómetros	XII, 270
Potenciómetro «calibrado»	XIII, 272
IV - <i>Criterio general de utilización</i>	
Límites de pH en que el electrodo es aplicable	XII, 274
Consideraciones respecto del valor del electrodo como indica de pH	XII, 279
Aprobación de los datos obtenidos	XII, 280
Casos particulares de aplicación	XII, 283
TEMAS VARIOS	
Notas biográficas sobre S. Cannizzaro	XII, 50
J. J. Thompson	XII, 5
Walther Nernst	XII, 189
ARTIFICIOS ÚTILES PARA LABORATORIO	
Cálculo de pH mediante la regla de cálculo	XII, 47
Agitador a turbina de agua fácil de improvisar	XII, 48
Micromechero y microsoplete	XII, 124
Preparación de placas porosas de vidrio	XII, 185
Diversas aplicaciones de una plancha de goma (cámara de auto)	XII, 294
Aparato de sublimación	XII, 371

INDICE POR ASIGNATURAS

QUIMICA GENERAL Y FISICO QUIMICA

La determinación del pH mediante el electrodo de vidrio (Vanossi)	XII, 197
Aparatos para la medición de la F. E. M. (Vanossi)	XII, 259
Método de Heyrovsky - Polarografía (Vanossi)	XII, 76

FISICA

La estructura electrónica de los átomos (Orozeo, Díaz)	XII, 13
Uniones atómicas (Sidgwick)	XII, 35
Sobre el desarrollo moderno de la concepción de Faraday de la electricidad	XII, 148
Teoría y ensayo de la balanza (Isnardi)	XII, 323

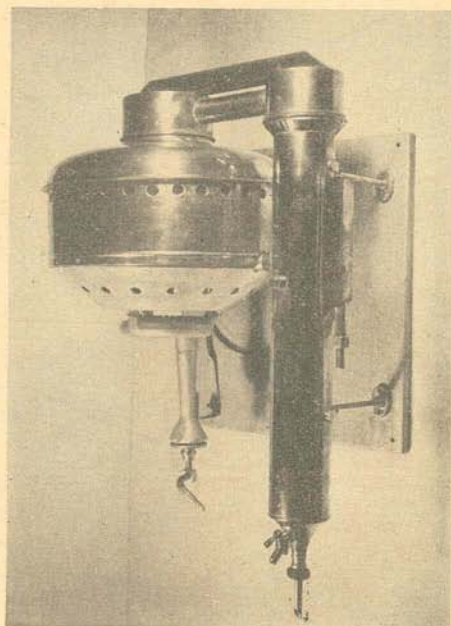
PEDAGOGIA

Enseñanza de la ciencia en EE. UU.	XII, 295
---	----------

Droguería BERETERVIDE S. A.

PIEDRAS 160

Teléf.: 34 - 1862 y 0041



Destilador continuo para agua destilada.

APARATOS PARA
TODA CLASE DE
LABORATORIOS.
REACTIVOS-CO-
LORANTES. MA-
TERIAL DE VI-
DRIO "PYREX"

Papel de filtro What-
man. Potenciómetros
Beckman. Lápicos Io-
noskrib para la deter-
minación del ph, etc.
Lámparas para fluo-
rescencia. Filtros
Wood

Aparecieron:

"APUNTES DE MICROBIOLOGIA"

Corregidos por el

Prof. Dr. ALFREDO SORDELLI

INSTITUTO MASSONE

DROGAS OPOTERAPICAS

HORMONAS

VITAMINAS

ETC.

Laboratorios:
BLANDENGUES 4350

Administración:
CORDOBA 2088/92

HIJOS DE ATILIO MASSONE

**GUIA DE
TRABAJOS PRACTICOS
DE
QUIMICA BIOLOGICA**

**GUIA DE
TRABAJOS PRACTICOS
DE BROMATOLOGIA**

**GUIA DE TRABAJOS
PRACTICOS DE
QUIMICA ORGANICA**

**GUIA DE
TRABAJOS PRACTICOS
DE
QUIMICA ANALITICA
CUANTITATIVA**

**CURSO ESPECIAL
DE FISICA**

Nueva edición corregida
por el Dr. ISNARDI

CALCULO DE ERRORES

POR

GALLONI y GARCIA

EN VENTA EN EL C. E. D. Q.

Casa
OTTO HESS S.A.

CASA ARGENTINA DE ORIGEN SUIZO
MAIPÚ 50 BUENOS AIRES



Aparatos para Laboratorios Científicos

INDUSTRIA • QUÍMICA • BIOLOGÍA